ZULEICA FARIA DE MEDEIROS

CONSIDERAÇÕES SOBRE A METODOLOGIA DE LEVANTAMENTOS ALTIMÉTRICOS DE ALTA PRECISÃO E PROPOSTAS PARA SUA IMPLEMENTAÇÃO

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Ciências pela Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Sílvio R. C. de Freitas

Co-Orientador: Prof. MSc. Pedro L. Faggion

CURITIBA
1999

Catalogação na fonte
Selma Regina Ramalho Conte CRB - 9/888

Medeiros, Zuleica Faria de.
Considerações sobre a metodologia de levantamentos altimétricos de alta precisão e propostas para sua implementação/ Zuleica Faria de Medeiros. -- Curitiba, 1999.
xvi, 142 f.. : il. ; grafs., tabs.
Orientador: Silvio Rogério Correia de Freitas; Pedro Luis Faggion.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná.

1. Altitudes - Levantamento. 2. Redes (Geodésia). 3. Nivelamento geométrico. I. Freitas, Silvio RogérioCorreia de. II. Faggion, Pedro Luis. III. Universidade Federal do Paraná. IV. Título.

CDD 20 526.36

"CONSIDERAÇÕES SOBRE A METODOLOGIA DE LEVANTAMENTOS ALTIMÉTRICOS DE ALTA PRECISÃO E PROPOSTAS PARA SUA IMPLEMENTAÇÃO"

POR

ZULEICA FARIA DE MEDEIROS

Dissertação nº 143 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

Prof. Dr. Sílvio Rogério Correia de Freitas (UFPR)
Orientador e Presidente

Prof. Pedro Luís Faggion, MSc (UFPR) - Co-Orientador

Prof. Álvaro Doubeck, MSc (UFPR) - Membro

Eng. Roberto Teixeira Luz, MSc (IBGE-RJ) - Membro

"A razão é fraca naturalmente, quando defrontada com sua tarefa infindável. Fraca realmente, se comparada às loucuras e paixões da humanidade, as quais, temos de admitir, quase inteiramente controlam o nosso destino humano, nas grandes e nas pequenas coisas. No entanto, a obra do entendimento sobrevive às gerações barulhentas e obstrutivas e espalha luz e calor através dos séculos".

Albert Einstein

DEDICATÓRIA

A Raimundo (In memorian) e Branca (In memorian) pelo exemplo e dedicação de pais que foram, e por tudo de bom que me ensinaram.

A minhas irmãs **Dulce e Edna** pela amizade e incentivo.

Ao meu cunhado **Luiz Eduardo** pelo seu eterno bom humor.

A uma grande amiga, **Marlene A Kascharowski** pelo companheirismo.

Ao Gueto: **Alcides, Evilázio, Lincoln, João e Rosane,** por tudo que passamos juntos e pela grande amizade que passou a nos unir.

AGRADECIMENTOS

Aos meus queridos e inestimáveis orientador Sílvio R. C. de Freitas e co-orientador Pedro L. Faggion, pela paciência e perseverança, principalmente nos momentos de esmorecimento.

Às Instituições abaixo relacionadas, que colaboraram com equipamentos, pessoal, e esclarecimentos quando necessário: UFPR, IBGE, IAP.

Ao CNPq pelos auxílios financeiros dos projetos registrados sob N° 523362/94-3 e 524030/96-0 (NV), e pela concessão da bolsa de estudo.

A um amigo inesquecível, que em um grande e difícil período desta dissertação e da minha vida esteve presente ao meu lado, apoiando-me ao seu modo: Aílton Corrêa Soares.

Aos Colegas do curso de Pós-Graduação pela amizade, companheirismo e incentivo nas horas difíceis e pelas alegrias nas horas de Festas!.

Às amigas de "tricô" Sílvia H. Schwab e Elaine Nunes Jordan que souberam ouvir e partilhar os momentos difíceis que passamos em nossas vidas familiares durante o curso.

A Simone da Silva que tanto me ajudou e incentivou, principalmente no início de minha vida profissional como professora nesta instituição.

A todos os bolsistas do LAIG, do período de 1995 a 1998, que realizaram os trabalhos exaustivos de campo e escritório.

Às bibliotecárias e funcionárias (os) da biblioteca do Setor de Tecnologia, em especial a Eliane M. Stroparo, Milena D. da Silva e Zuleica I. Kopytowski, que sempre me trataram com carinho e estima, me auxiliando naquela imensidão de conhecimento.

A Isabel, Daniel e Marcelo por retornarem ao campo para coleta de dados sugeridas pela banca.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE GRÁFICOS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CP	CENTRO POLITÉCNICO
CNPq	CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO
CPGCG	CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS
DSG	DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO
IBGE	FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
IAP	INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ
INMETRO	INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL
LAIG	LABORATÓRIO DE AFERIÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO GEODÉSICA
MVI	MIRA VERTICAL DE INVAR
NMM	NÍVEL MÉDIO DOS MARES
NOAA	NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION
RN	REFERÊNCIA DE NÍVEL
RRNN	REFERÊNCIAS DE NÍVEL
SGB	SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO
UFPR	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RESUMO

No presente trabalho discute-se a metodologia atualmente empregada no Brasil para o Nivelamento Geométrico de Alta Precisão. Nesta avaliação são considerados aspectos, tais como: a) o controle do instrumental utilizado, considerando a verificação, retificação e aferição/calibração de níveis e miras; b) as variáveis físicas que podem interferir na precisão, sendo analisadas as condições micro-climáticas ao longo da linha de visada, instabilidade do solo, e outros aspectos; c) a necessidade de implantação de novos procedimentos de campo; d) a automação da aquisição e tratamento das observações. Os métodos utilizados para estes estudos contaram com um sistema de aferição de miras com capacidade nominal de até $\pm$ 0,001 mm, sistema de retificação de níveis ópticos com colimadores de alta precisão e com a implantação de uma rede científica de nivelamento com aproximadamente 7,3 km de extensão com precisão de 0,5 mm $\sqrt{K}$. Com base nos experimentos efetuados, na implantação de novos procedimentos e análise dos resultados, constata-se uma série de melhorias no desempenho tanto nos procedimentos de campo como nos de análise final dos levantamentos.

ABSTRACT

In the present it is discussed the methodology presently adopted Brazil for precise spirit leveling. Some aspects are considered in this evaluation, such as: a) the control of the used instrumental, considering the verification, rectification and calibration of levels and rods; b) the physical variables which can interfere in the precision, being analyzed the micro-meteorological conditions along of colimation line, soil instability, and other aspects; c) the need of to implant new field survey procedures; d) the automation of the acquisition and treatment of the observations. The used methods for these studies taked advantage of a rod calibration system, with nominal resolution of $\pm$ 0.001 mm, retification system of optical levels with high precision collimators and a scientific leveling networ with precision of 0.5 mm $\sqrt{K}$ 7,3 km. With base in the effectuated experiments, in the implantação of new procedures and analysis of the results, it were verified a series of experiment as far as int the field procedures as int the final analysis of the levellings.

1 INTRODUÇÃO

O nivelamento de precisão associado com redes geodésicas de apoio altimétrico fundamental, tem por objetivo determinar o desnível entre um ponto inicial (DATUM altimétrico, no caso de redes geodésicas) e pontos da superfície terrestre, os quais são materializados sob a forma de referências de nível (RRNN), alocados na forma de linhas e circuitos em locais pré determinados, com acessos para reocupações futuras.

Uma indicação que o procedimento metodológico anteriormente disciplinado pela Diretoria do Serviço Geográfico (DSG) e após pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) não conduzem ao valor indicado como aceitável a nível internacional. Então, partiu-se da suposição inicial que os procedimentos adotados no Brasil, para nivelamento geométrico de alta precisão são em princípio restritivos, tal que se passou diretamente ao estudo de novos procedimentos.

No Brasil, tem-se cerca de 180 000 km de linhas de nivelamento, associadas com a rede altimétrica fundamental do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), constituídas por cerca de 65000 RRNN, das quais estima-se que 60 % estejam destruídas (LUZ,1998). Todo o SGB foi determinado através do IBGE.

O IBGE apoia-se nas Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos (R/PR 22/83), conforme o ANEXO I, para execução de nivelamentos de alta precisão, que preconizam uma precisão de 3 mm $\sqrt{K}$ (K média das distâncias niveladas e contra niveladas em km), entre pontos extremos de uma seção de nivelamento.

Os padrões internacionais têm apontado como valor desejável de precisão para estas redes 1 mm $\sqrt{K}$ (ROBINSON et al., 1995). O Brasil vem trabalhando, de modo a se

enquadrar nesta precisão. O IBGE firmou convênio com a Universidade Federal do Paraná (UFPR) para esta, via o Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (CPGCG), realizar estudos no sentido de adequação dos métodos e controles necessários para atingir os padrões internacionais.

Considerando apenas os aspectos relacionados com os levantamentos, algumas variáveis de natureza física interferem na melhoria da precisão da rede, tais como as condições micro-climáticas ao longo das linhas de visada, efeitos geodinâmicos - principalmente as marés terrestres e os efeitos indiretos dos oceanos, instabilidade do solo (ANANGA, 1991) onde estão implantadas as Referências de Nível (RRNN), e a instabilidade dos apoios intermediários. Certos procedimentos adotados nas operações de campo e uma falta de melhor controle instrumental também afetam estas precisões.

Os professores e técnicos do Laboratório de Aferição e Instrumentação Geodésica (LAIG) da UFPR, vinculado ao CPGCG, juntamente com o IBGE vêm rediscutindo a metodologia empregada nos nivelamentos geométricos de precisão. O LAIG já possui um sistema de aferição de miras com capacidade nominal de $\pm$ 0,001 mm (FAGGION, 1993), um sistema de retificação de níveis ópticos com colimadores de alta precisão e implantou uma rede científica de nivelamento com precisão de 0,5 mm $\sqrt{K}$ como base de apoio aos estudos. Neste sentido, pretende-se melhorar o aproveitamento do instrumental atualmente utilizado nas operações de nivelamento geométrico de alta precisão, automatizar as cadernetas de campo de modo a otimizar os cálculos dos desníveis com a aplicação direta das correções de acordo com os certificados das miras verticais de ínvar, e considerar os aspectos físicos e metodológicos necessários para se atingir a precisão de 1 mm $\sqrt{K}$.

São apresentados os resultados obtidos em cinco nivelamentos realizados sobre a rede científica da UFPR, sendo aproximadamente um a cada ano, desde 1995. Nos quatro primeiros nivelamentos foi utilizado o nível óptico Wild N3, com precisão nominal de 0,25 mm $\sqrt{K}$, com miras verticais de ínvar centimétricas, aferidas no LAIG, e no quinto nivelamento utilizou-se o nível digital NA 3003 (0,4 mm $\sqrt{K}$ de precisão) e miras de código de barra (LEICA, 1994).

Fez-se um estudo prévio da refração nivelítica em uma linha da rede. Estudou-se o nivelamento em diferentes horários (manhã/meio-dia/tarde), visando a verificação dos efeitos da refração, reverberação e flutuação e observando-se as variações de desníveis calculados.

Todos estes aspectos foram analisados e serviram de base para as proposições metodológicas apresentadas neste trabalho, tais como rediscussão da instrumentação, operações de campo e automatização da aquisição/tratamento das observações.

2 FUNDAMENTAÇÃO

2.1 NIVELAMENTO GEOMÉTRICO CONVENCIONAL

Em um primeiro momento, o nivelamento geométrico é considerado uma técnica simples. A partir de um nível óptico - o qual será apresentado na seção 2.1.2.1 - situado em um ponto C, conforme Figura 01, obtém-se o desnível entre dois pontos, através da diferença de leituras feitas sobre duas miras graduadas situadas à ré (ponto A) e à vante (ponto B) do nível. Sabendo-se a altitude do ponto de ré é possível determinar a altitude do ponto de vante, através da equação:

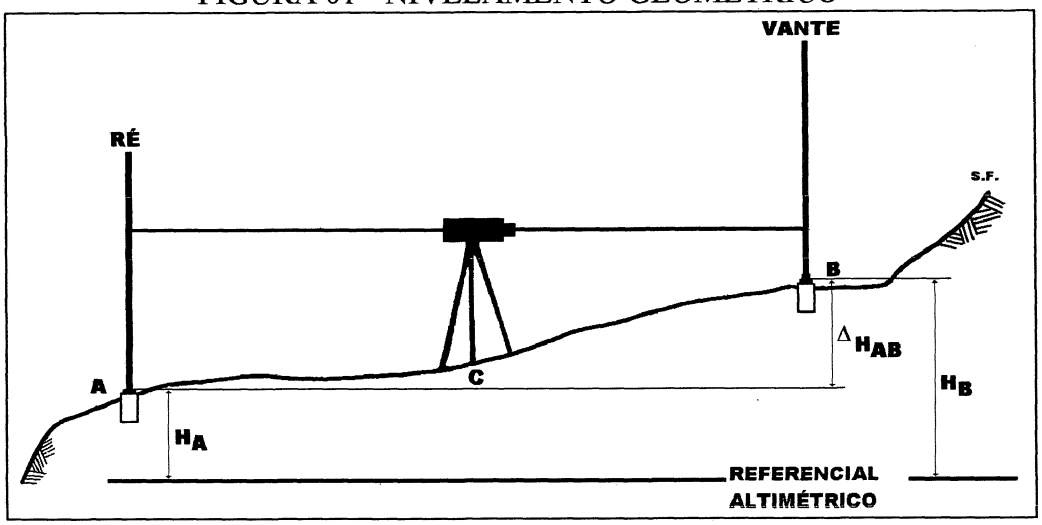
$$H_B = H_A + \Delta H_{AB} \tag{2.1}$$

Quando fala-se em nivelamento geométrico, surge a necessidade do conhecimento de alguns termos técnicos. Para tanto, toma-se suas definições do Manual Técnico utilizado pela DSG (BRASIL, 1975).

Estação do Instrumento - Posição ocupada pelo nível na tomada das leituras sobre as miras;

Visada - leitura da mira executada numa estação do instrumento, numa linha de nivelamento. Existem para uma mesma estação duas visadas, a saber: visada à ré (leitura da mira de ré) e visada à vante (leitura da mira de vante);

FIGURA 01 - NIVELAMENTO GEOMÉTRICO



Lance - " É a medida direta do desnível entre duas miras verticais (estações), distanciadas até 200 m (escala centimétrica) ou até 160 m (escala semicentimétrica), obtida pela diferença entre as leituras na mira a ré-e-vante 9sentido do percurso)."(BRASIL, 1975),

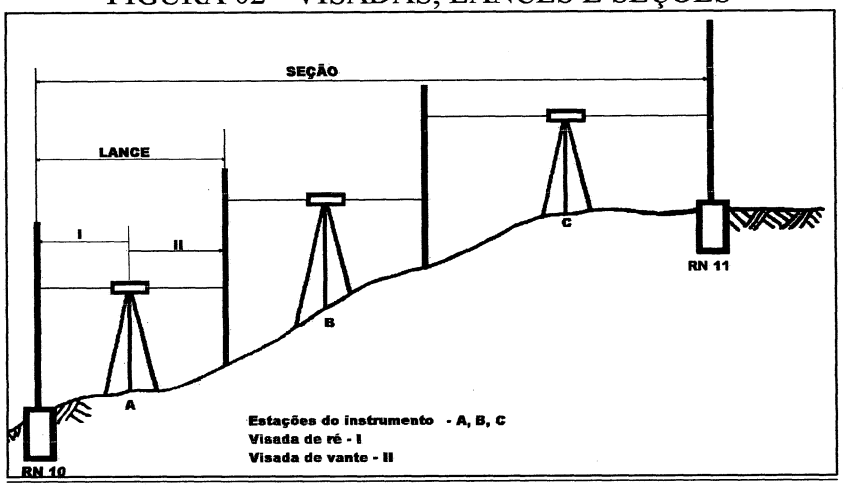
Seções - São trajetos da ordem de 2 a 3 km que são nivelados (seção simples) e contra nivelados (seção dupla). As seções são assinaladas por RRNN nos seus extremos (referências de nível monumentadas);

Esses três conceitos estão ilustrados na Figura 02.

Linhas - São composições de seções, ou seja uma série de diferenças de altitudes medidas. Elas são estabelecidas ao longo de vias de comunicação, preferencialmente ao longo das vias asfaltadas. Seu comprimento varia de 50 a 100 km;

Circuitos - São composições de linhas, de modo que a RN de início da primeira linha seja a mesma RN de término da última linha do circuito. O perímetro máximo deve ser da ordem de 400 km;

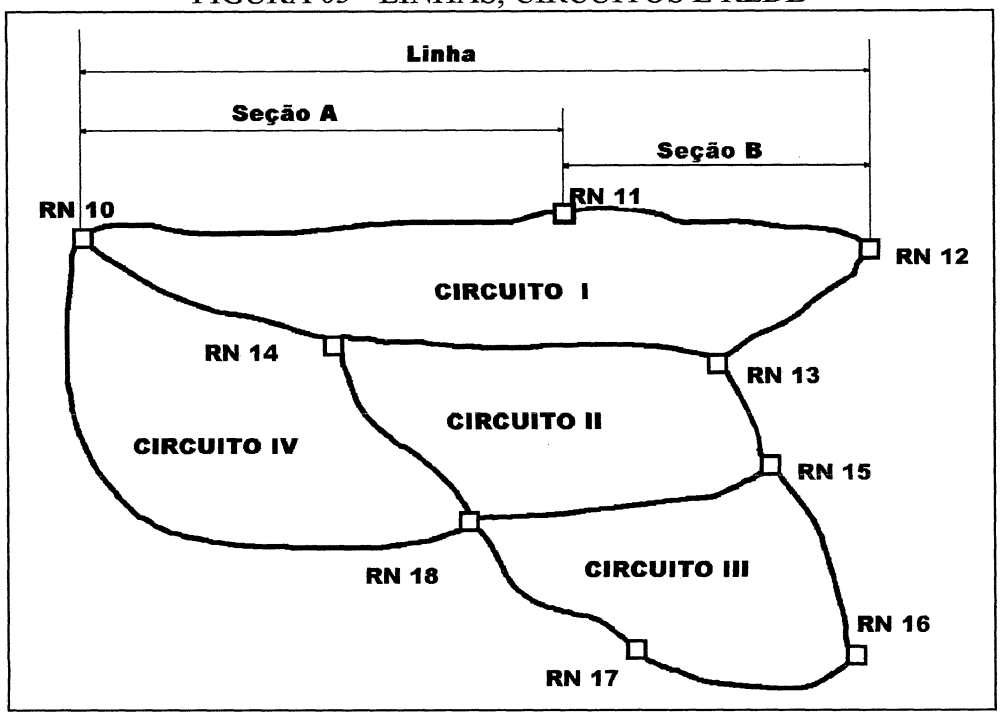
FIGURA 02 - VISADAS, LANCES E SEÇÕES



Rede - Sistema de enlace ou circuitos que se estendem numa área. No Brasil ela é composta por cerca de 180000 km de linhas. A rede fornece condições para um processo de ajustamento.

A Figura 03 ilustra os conceitos.

FIGURA 03 - LINHAS, CIRCUITOS E REDE



2.1.1 Conceitos

A altitude pode ser definida, de forma simples, como a distância de um ponto sobre a superfície da Terra, contada sobre a vertical ou normal, e a superfície de referência ou de altitude zero, por convenção, respectivamente Geóide e Elipsóide. (GEMAEL, 1987). O conceito parece simples porém do ponto de vista geodésico temos:

a) Altitude Ortométrica (h) - distância contada sobre a vertical, desde o Geóide até o ponto considerado (PP'); (VANICEK, 1986) e pode ser dado pela equação

Fisicamente:

$$h_P = \frac{W_P - W_0}{g_m} = \frac{C_P}{g_m} \tag{2.2}$$

onde:

g_m é a gravidade média entre os pontos P e P'

C_P é o número geopotencial do ponto P

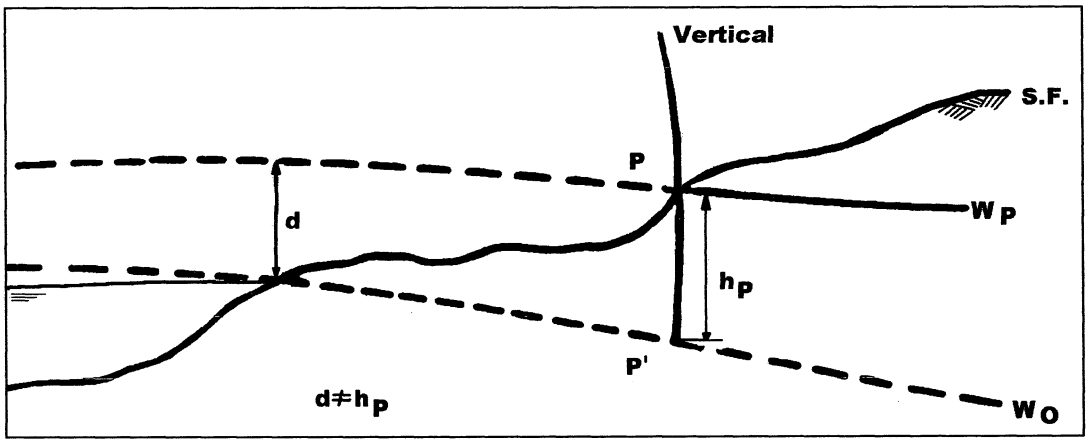
h_P é a altitude ortométrica do ponto P

W_P geopotencial no ponto P

W_O geopotencial no ponto P'

Este conceito (Figura 04), mesmo que fisicamente correto, não é possível de ser adotado de forma exata na prática. Então, o referencial definido é apenas teórico e o adotado pressupõe formas de obtenção de C_P e valores aproximados de g_m.

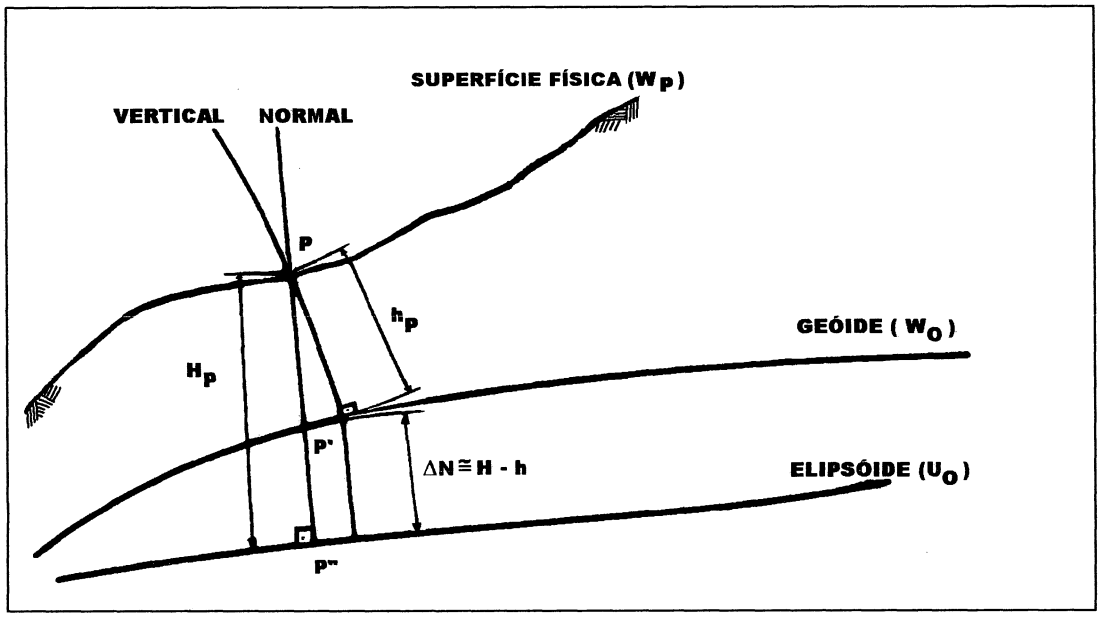
FIGURA 04 ALTITUDE ORTOMÉTRICA



b) Altitude Geodésica ou elipsoidal (H) - distância contada sobre a normal do ponto desde o elipsóide de referência até o ponto considerado. (VANICEK, 1986).

A Figura 05 esclarece adequadamente os conceitos.

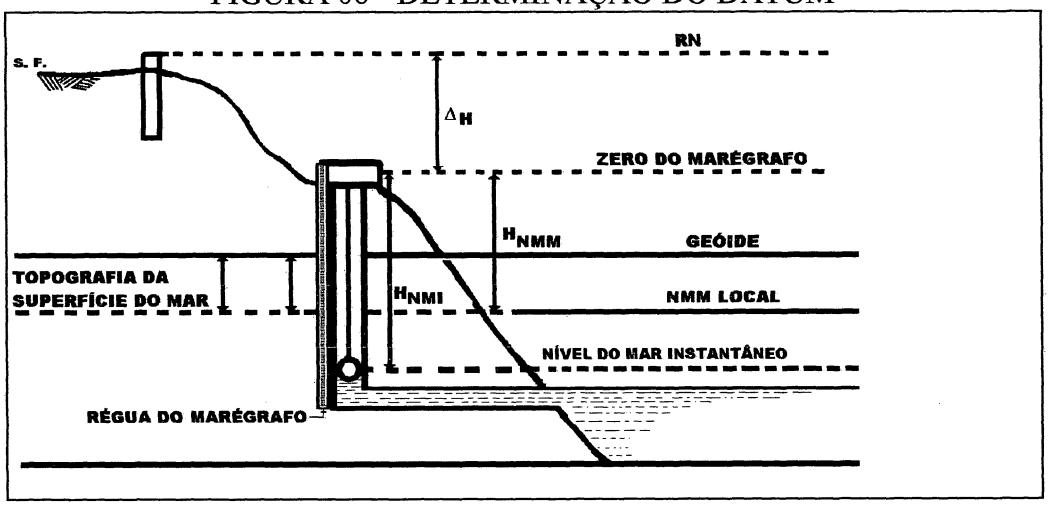
FIGURA 05 - ALTITUDES



Uma rede altimétrica tem todas suas RRNN vinculadas a um ponto inicial de altitude zero, idealmente pertencente ao Geóide, e denominado de DATUM (Figura 06).

Até algumas décadas atrás acreditava-se que a divergência entre o Nível Médio dos Mares (NMM) e o Geóide, no local de mensuração, podia ser desprezada e com isto definia-se o Geóide nos continentes, como sendo o prolongamento do NMM. O problema do posicionamento do Geóide reduzia-se à determinação do NMM. Porém, o NMM depende do período de observações na sua determinação, devendo-se levar em consideração os deslocamentos verticais da crosta ou mudanças de nível dos mares causadas por degelo, variações tectônicas do fundo do mar ou acúmulo progressivo de sedimentos e ainda a existência da topografia da superfície do mar, podendo esta, em escala global, apresentar variação de ± 1,20 m em relação ao Geóide (VANICEK, 1986).

FIGURA 06 - DETERMINAÇÃO DO DATUM



Fonte: Vanicek, 1986

O Datum altimétrico brasileiro é o ponto associado com o nível médio do mar determinado pelo marégrafo de Imbituba - SC, obtido pela operação deste marégrafo entre 1949 e 1957 (LUZ, 1996).

2.1.2 Metodologia Convencional empregada no Brasil

A R/PR 22/83 (ANEXO I) estabelece especificações e normas gerais, atualmente utilizadas, para os levantamentos geodésicos associadas à rede vertical realizados dentro do território nacional.

No que diz respeito a estes levantamentos, a norma os classifica em três tipos:

1) Levantamentos Geodésicos de Alta Precisão;

2) Levantamentos Geodésicos de Precisão;

3) Levantamentos Geodésicos Para Fins Topográficos.

No presente trabalho ateve-se aos Levantamentos Altimétricos de Alta Precisão, os quais ainda são divididos em Científico e Fundamental.

O Científico objetiva o atendimento de programas de pesquisas internacionais. O Fundamental serve de ponto básico para amarrações e controle de trabalhos geodésicos e cartográficos, constituindo assim o sistema único de referência. Em ambos levantamentos a diferença máxima aceitável entre o nivelamento e contra nivelamento é da ordem de 3 mm $\sqrt{K}$.

Os levantamentos dos itens 2 e 3 não serão aqui discutidos, por não se tratarem de levantamentos de alta precisão.

O nivelamento geométrico pode ser realizado através dos métodos de visadas iguais, visadas recíprocas, visadas extremas e visadas eqüidistantes. O procedimento recomendado pela norma para o Nivelamento Geodésico de Alta Precisão é o método das visadas iguais, com o uso do nivelamento e contra nivelamento.

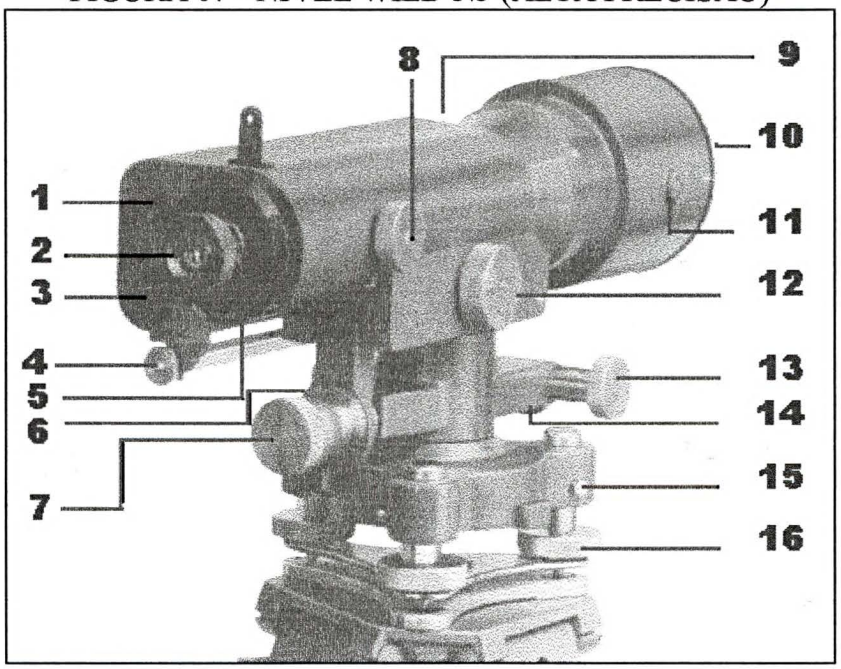
2.1.2.1 Instrumental Utilizado

De acordo com a norma, descreve-se na sequência o instrumental utilizado no nivelamento geométrico de alta precisão.

a) Nível automático ou de bolha provido de micrômetro para o ajuste óptico de placa plano-paralela (descrito em 2.1.3.1.3). Neste trabalho utilizou-se níveis de bolha Wild N3 (Figura 07);

"O nível consiste basicamente de um telescópio de pontaria capaz de girar em torno de um eixo vertical. A linha de visada é horizontalizada através de um nível de bolha bipartida." (WILD, 1960). Esta linha de visada, com o nível calado, deve ser tangente à superfície equipotencial local. Ele possui um sistema de placa plano-paralela a qual é controlada pelo operador através de um parafuso micrométrico.

FIGURA 07 - NÍVEL WILD N3 (ALTA PRECISÃO)



Fonte: Wild, 1960

1 - Ocular do nível de coincidência (bolha bipartida)
2 - Ocular da luneta
3 - Ocular da escala micrométrica
4 - Comando do refletor de iluminação do nível de bolha
5 - Parafusos de retificação do retículo (embutido dentro da ocular)
6 - Tambor graduado
7 - Parafuso basculante (movimento da luneta)
8 - Parafuso de focalização em distância
9 - Parafuso de retificação do nível tubular (na frente do nível tubular)
10 - Objetiva
11 - Sistema de Placa Plano-Paralela
12 - Parafuso do micrômetro (ajuste da placa plano-paralela)
13 - Parafuso de coincidência azimutal (retículo vertical)
14 - Parafuso de fixação do movimento azimutal
15 - Parafuso de ajustamento dos calantes
16 - Parafuso calante

b) duas miras verticais de ínvar (dupla graduação);

As miras (Figura 09), segundo Faggion (1993), têm geralmente 3 metros de comprimento e são constituídas de quatro partes básicas:

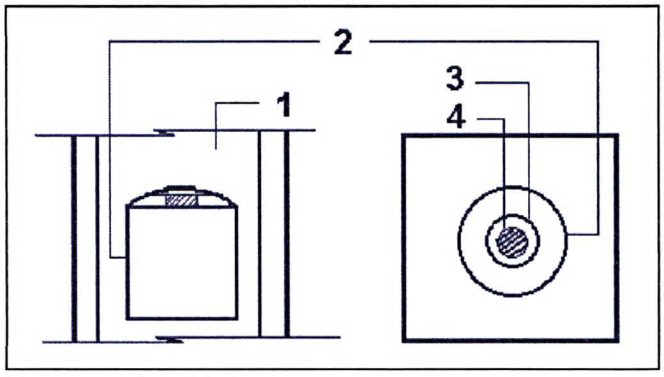
b.1) Armação - pode ser de alumínio ou madeira e possui as graduações grosseiras, servindo também para a fixação da fita de ínvar (sendo que na parte superior é presa por uma mola espiral sob tensão). A mira ainda possui as graduações numeradas a cada dois centímetros, ficando subentendidas as numerações ímpares. Isto é utilizado para evitar um acúmulo de números sobre a mira (IBGE,1985). Na parte inferior da mira, existe uma base retangular, de aço polido, aonde é fixada a fita de ínvar. Na extremidade superior existe uma mola distendida que prende a fita de ínvar e absorve qualquer variação no comprimento da estrutura da régua, de modo que o comprimento da fita sempre se mantenha o mesmo.

b.2) Fita de Ínvar - liga metálica (aço/níquel/carbono) de baixo coeficiente de dilatação linear. Nesta fita é que se encontram as graduações de precisão, com traços intercalados de um ou meio centímetro. São feitas duas graduações, uma em cada borda da fita, chamada de direita e esquerda com uma defasagem entre elas que determina a constante da mira. A mira utilizada no presente trabalho foi centimétrica, cuja constante é 301,55 cm. A graduação da esquerda na maioria dos casos, é numerada de 4 a 300 e a da direita de 306 a 600.

b.3) Alças - são peças fixas na armação que têm por objetivo auxiliar o porta mira a manter a verticalidade da mira durante as operações de nivelamento.

b.4) Nível Esférico - encontra-se na parte posterior da mira (Figura 08) e é utilizado para a obtenção da verticalidade quando da utilização desta em campo. Sua precisão é de 8 minutos de arco em 2 milímetros (GEMAEL, 1987). O IBGE em seu manual (IBGE,1985) recomenda a sua aferição pelo menos uma vez ao mês ou quando a mira sofrer alguma queda ou pancada.

FIGURA 08 - DETALHE DO NÍVEL ESFÉRICO



Fonte: Faggion, 1993

1 - Armação
2 - Nível esférico
3 - Círculo de referência
4 - Bolha de ar

As miras são guardadas em caixas de madeira, aos pares, as quais têm um mesmo número de série e são diferenciadas pelas letras A e B ou por numeração.

Um anel de ferro é fixado na base da mira o qual encaixa-se no pino superior da sapata, evitando assim que a mira perca sua origem quando da rotação sobre a mesma nos pontos intermediários das seções.

c) Tripé para miras

São hastes de ferro que auxiliam na verticalização das miras (Figura 10). É pouco usado devido ao seu alto custo. Normalmente são substituídos por balizas (hastes delgadas) de ferro fixadas nas alças das miras.

d) Sapatas

As sapatas (ou "sapos") são pequenas peças de ferro compactas que possuem três pinos na sua parte inferior (Figura 11). Servem para fixação ao solo quando da realização do nivelamento composto. Em sua parte superior há um quarto pino (em aço ou alumínio), no qual apoia-se a mira.

e) tripé de nível;

O tripé é um suporte portátil que sustenta o nível.

f) Guarda-sol;

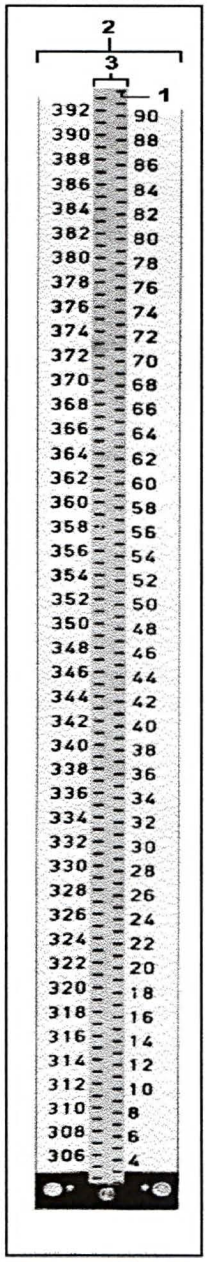
O guarda-sol deve ser de algodão e de cor clara. É utilizado para proteger o nível dos raios solares, que interferem diretamente sobre o nível e geram a desestabilização do sistema de horizontalização e consequentemente a perda da calagem do instrumento (mudança na verticalidade do eixo principal). Como resultado final tem-se a perda na qualidade do trabalho e a perda de calagem.

g) Prancheta e cadernetas de campo

As cadernetas utilizadas seguiram o modelo G-4, segundo a Figura 12, da DSG (BRASIL, 1960).

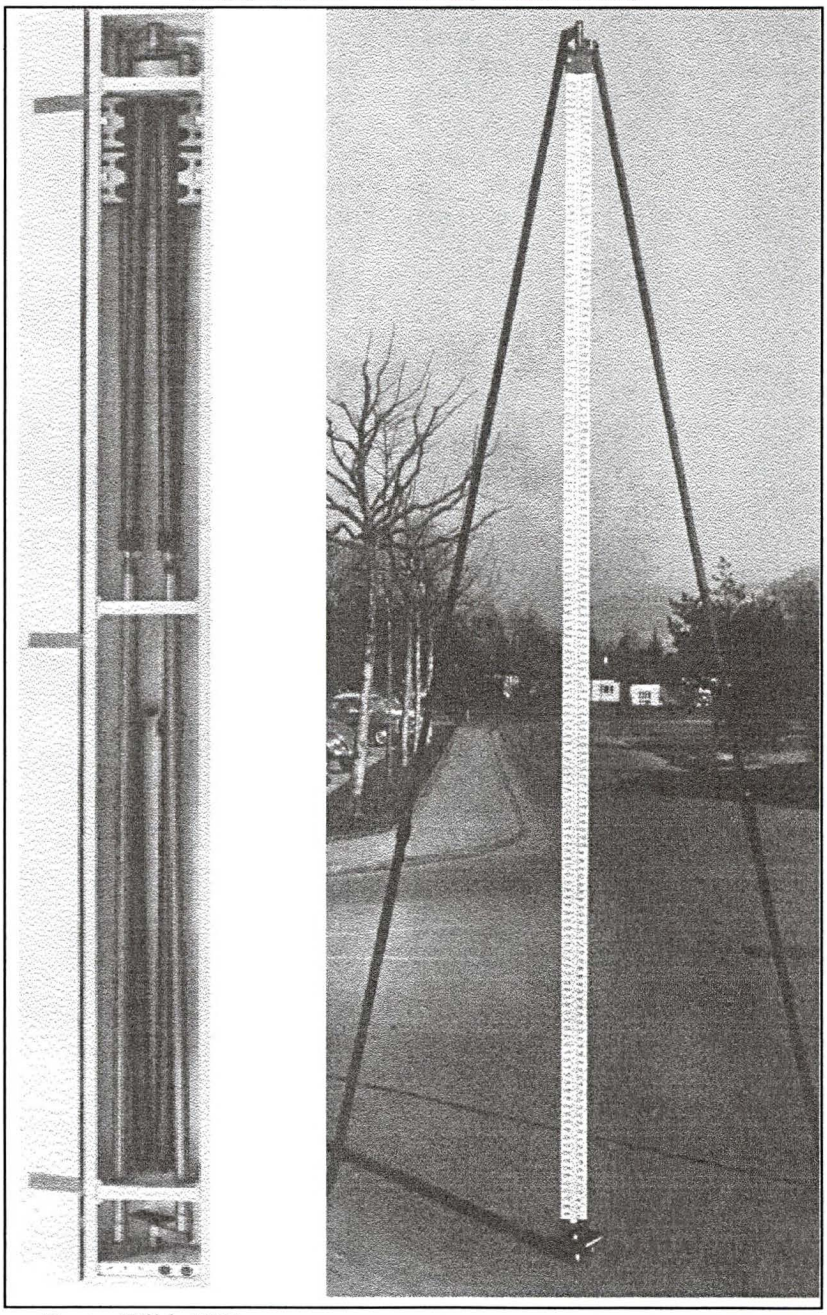
É conveniente lembrar aqui que o instrumental (nível e miras) deve ser todo da mesma marca.

FIGURA 09 - MIRA VERTICAL DE ÍNVAR



Fonte: Wild, 1965

FIGURA 10 - TRIPÉS DE MIRAS



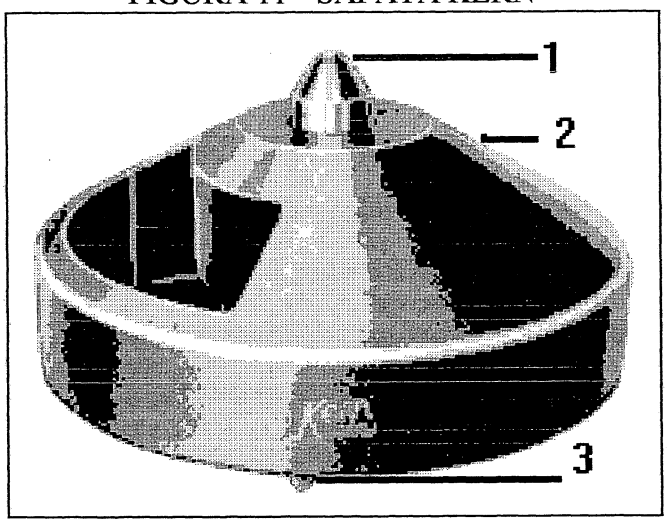
Fonte: Wild, 1965

1 - Traço gravado da mira

2 - Armação

3 - Fita de ínvar

FIGURA 11 - SAPATA KERN



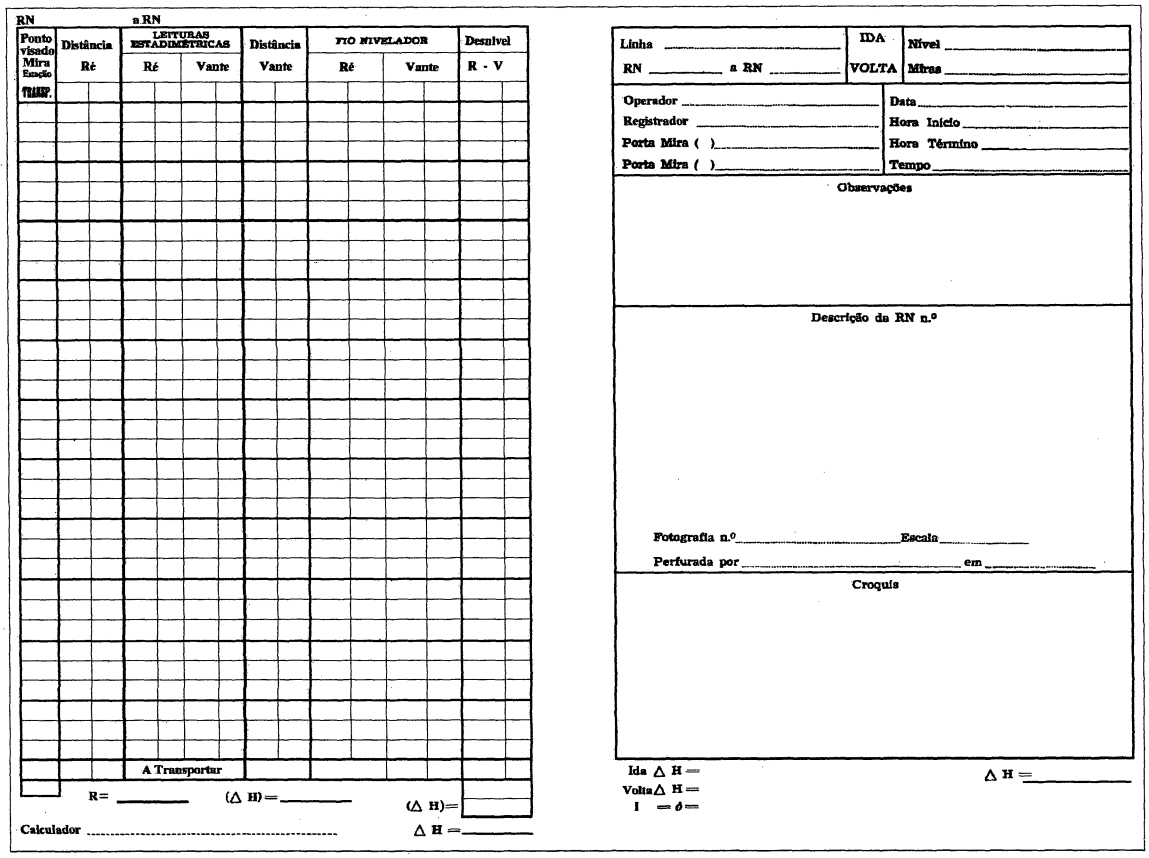
Fonte: Wild, 1962

1- Pino de suporte para a mira (aço ou alumínio)

2- Corpo em Ferro

3 - Pinos inferiores

FIGURA 12 - CADERNETAS



RN a RN

Ponto visado Mira Estação	Distância	LEITURAS ESTADIMÉTRICAS		Distância	FIO NIVELADOR		Desnível
	Ré	Ré	Vante	Vante	Ré	Vante	R - V
TOTAIS							
		A Transportar					

R= _____ (△ H) = _____ (△ H)= _____

Calculador ..... △ H = _____

Linha _____	IDA	Nível _____	
RN _____ a RN _____	VOLTA	Miras _____	
Operador _____		Data _____	
Registrador _____		Hora Início _____	
Porta Mira ( ) _____		Hora Término _____	
Porta Mira ( ) _____		Tempo _____	

Observações

Descrição da RN n.º

Fotografia n.º _____ Escala _____

Perfurada por _____ em _____

Croquis

Ida △ H =

Volta △ H =

I = ∅ =

△ H = _____

Fonte: Brasil, 1960

2.1.2.2 Medições e Desníveis

Alguns procedimentos usuais são utilizados de modo a se evitar a propagação de erros sistemáticos (IBGE,1983):

a) os comprimentos das visadas de ré e vante devem ser aproximadamente iguais, de modo que os efeitos do erro de colimação vertical do nível, da curvatura terrestre e da refração atmosférica sejam minimizados;

b) as leituras nas visadas devem ser superiores a 20 cm do solo evitando assim reverberações causadas por turbulências;

c) o uso de um par de miras de forma alternada em ré e vante, e de modo que a mira que deu início a uma seção (visada em ré) seja a mesma do término (visada a vante) da referida seção, eliminando-se o erro de índice da mira;

d) utilização de sapatas ao longo das seções (excetuando os pontos de início e fim, demarcados por RRNN), evitando-se que a mira vá diretamente ao solo;

e) o comprimento máximo das visadas deve ser de 100 metros, porém recomenda-se 60 metros;

f) divergência entre duas graduações em unidades da mira de 0,0002 m;

g) ao realizar-se as leituras das visadas, deve-se calcular a diferença das leituras dos fios niveladores (direita e esquerda), e comparar o valor obtido com o intervalo permitido da constante da mira. Este procedimento deve ser utilizado em cada visada (ré e vante);

h) a diferença máxima tolerável entre os comprimentos das visadas de ré e vante acumulada para a seção, deve ser da ordem de 3 metros;

i) para um melhor controle na qualidade do nivelamento, deve-se a cada seção comparar o desnível obtido no nivelamento e no contra nivelamento, de modo que esta diferença seja inferior a 3 mm $\sqrt{K}$ (K média das distâncias niveladas e contra niveladas em quilômetros), e a diferença máxima aceitável entre o nivelamento e o contra nivelamento em uma linha de 4 mm $\sqrt{K}$.

Após a instalação e calagem do nível, procede-se às leituras na seguinte ordem (BRASIL, 1960):

1- leitura dos fios estadimétricos (superior e inferior) e do fio nivelador do lado esquerdo da mira de ré;

2- leitura do fio nivelador e dos fios estadimétricos do lado esquerdo da mira de vante;

3- leitura do fio nivelador do lado direito da mira de vante;

4- leitura do fio nivelador do lado direito da mira de ré.

Com a diferença de leituras dos fios estadimétricos da mira de ré, multiplicada pela constante estadimétrica do nível, menos a constante de adição do instrumento (0,20 m), obtém-se a distância do nível à mira em ré. O mesmo procedimento é realizado para obter-se a distância de vante. Com a diferença de leituras dos fios niveladores do lado esquerdo e direito da mira de ré, obtém-se um valor próximo à constante da mira, a qual serve para verificar a qualidade das leituras, uma vez que a diferença entre elas, em qualquer posição da mira, é constante (analogamente para as leituras em vante). Através da média da diferença de leituras dos fios niveladores das miras de ré e vante (lado esquerdo e direito) obtém-se o desnível entre os pontos nivelados.

Como pode ser visto, o método é bastante simples, além de minimizar erros importantes, tais como os que serão discutidos na seqüência.

2.1.3 Fontes de Erro

Toda observação, por mais cuidadosa que o operador a possa efetuar, sempre estará eivada de erros de medida, provenientes da falha humana, da imperfeição do equipamento ou das influências do ambiente (GEMAEL, 1994). Tais erros serão discutidos na seqüência:

2.1.3.1 Instrumentais

2.1.3.1.1 Erro de Verticalidade do Eixo Principal

Quando o nível tubular não está perfeitamente horizontalizado, o eixo principal do instrumento, que é perpendicular a este por construção, não está paralelo à direção do vetor gravidade no ponto em que o nível está instalado. O ângulo formado entre a direção do vetor gravidade e o eixo principal do instrumento é dito erro de verticalidade do eixo principal. Este erro faz com que não se tenha um único plano de visada para um lance.

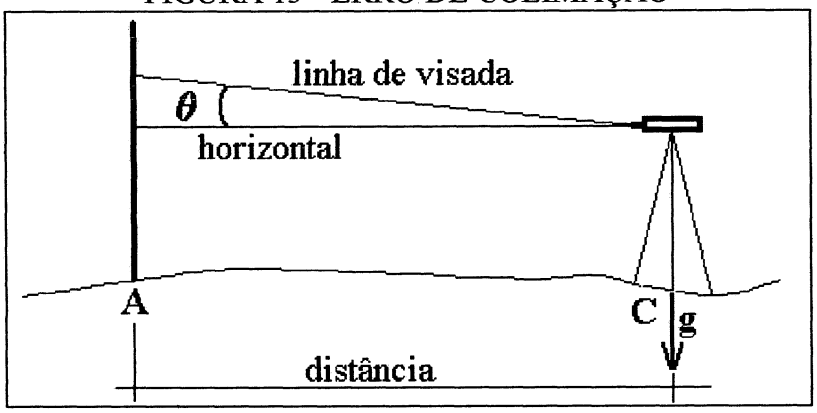
2.1.3.1.2 Erro de Colimação ou não Paralelismo da linha de visada e o eixo do nível tubular

Quando a linha de visada forma um ângulo com o eixo do nível tubular, ou seja, a linha de visada não é horizontal (Figura 13), diz-se que o nível está com um erro de colimação. A

influência deste erro na leitura está diretamente relacionada com o comprimento da visada. Quanto maior a visada maior será o erro.

$$\varepsilon = \mathrm{d} \times \theta_{(\mathrm{rd})} \tag{2.3}$$

FIGURA 13 - ERRO DE COLIMAÇÃO



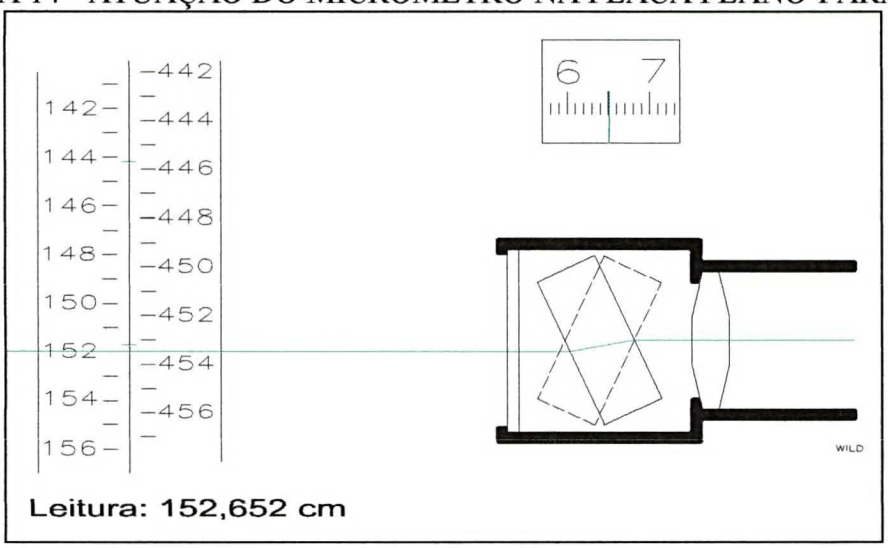
2.1.3.1.3 Micrômetro da placa plano-paralela

Quando atua-se no micrômetro, ele deve percorrer de um extremo ao outro na mira exatamente um intervalo entre dois traços, ou seja, o equivalente a 10 mm (1 cm) em miras centimétricas (Figura 14). Mas devido a imperfeições na construção e ao uso pode haver uma folga para mais ou para menos que não permita a leitura em todo o intervalo acima mencionado.

2.1.3.1.4 Erro de Verticalidade da Mira

O nível de bolha pode sofrer danos e desretificações que comprometam a verticalidade da mira (IBGE, 1985).

FIGURA 14 - ATUAÇÃO DO MICRÔMETRO NA PLACA PLANO-PARALELA



Fonte: Wild, 1960

2.1.3.1.5 Erro de Graduação da Mira

Quando da impressão da escala na fita de ínvar, surgem erros próprios do processo de gravação. Estes erros são aferidos e constam do certificado de aferição que acompanha as miras. Porém, devido a seu alto custo, as empresas normalmente só adquirem o equipamento, confiando que a gravação da fita está dentro de um padrão que garante a precisão preconizada pelo nivelamento geométrico de primeira ordem.

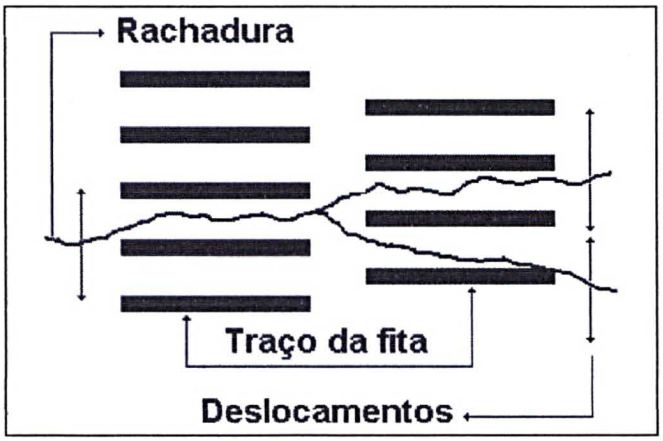
Outro aspecto que afeta a qualidade das gravações é o "desgaste", em função da ação ambiental recebida, provocando rachaduras na pintura da fita (Figura 15). Estas rachaduras acabam por afastar dois traços próximos e aproximar um terceiro traço.

Estas rachaduras podem provocar erros da ordem do décimo do milímetro nas leituras (FAGGION,1993).

2.1.3.1.6 Erro de Índice

A distância entre a base inferior da mira até a primeira graduação da escala desta é dito índice da mira. Cada mira possui um valor para este índice. Deste modo, pode-se introduzir um erro de índice (diferença entre os índices das miras A e B) quando não se utiliza a mesma mira para o início e fim de uma linha de nivelamento.

FIGURA 15 - RACHADURAS NA PINTURA DAS FITAS DE INVAR



2.1.3.2 Ambientais

2.1.3.2.1 Erro de Refração Atmosférica

A partir de mudanças na temperatura do ar e entre o ar e o solo, têm-se as mudanças na densidade da atmosfera e consequentemente a linha de visada se encurva na direção em que aumenta a densidade. Três efeitos surgem, cada um mais acentuado em determinado horário, em função das alterações físicas da atmosfera ao longo da linha de visada. Tais efeitos são

distinguidos como refração nivelítica, flutuação e reverberação e serão abordados de forma mais pormenorizada na sequência.

2.1.3.3 Geodinâmicos

A atração luni-solar sobre a Terra produz deformação do solo e alteração do Geopotencial, com implicações diretas na variação da vertical local e posição. A mesma perturbação, sobre os oceanos, ocasiona as marés oceânicas, as quais resultam em efeitos indiretos nas porções continentais. Estes efeitos indiretos produzem também variações similares (DE FREITAS, 1993). Estes efeitos não serão considerados neste trabalho.

2.2 EXPERIMENTAÇÃO RELATIVA AO NIVELAMENTO GEOMÉTRICO CONVENCIONAL

Tendo em mente os pressupostos aplicados nas operações convencionais de nivelamento geométrico, associados ao estabelecimento da rede altimétrica fundamental do SGB, constata-se que não são previstos os controles de algumas fontes de erros devido principalmente a aspectos instrumentais/ambientais e geodinâmicos. Estes últimos são de menor relevância nas operações de campo, porém importantes na definição do DATUM altimétrico. Os métodos convencionais têm visado principalmente a produtividade, porém incorrendo, em conseqüência, na desconsideração de algumas fontes de erro bastante significativas, conforme será discutido na seqüência.

2.2.1 Verificação, Retificação e Aferição/Calibração Instrumental

O controle instrumental é um primeiro aspecto de reflexão, em vista da sensibilidade e alta resolução requeridas nas operações de nivelamento. Deve-se considerar ainda que o nivelamento geométrico é a operação geodésica mais precisa no posicionamento relativo na superfície da Terra. Por exemplo, para os levantamentos planimétricos tem-se como expectativa de resolução para posicionamento relativo $\sigma_p = 4.10^{-2}.\ S^{2/3}$ metros e altimétrico de $\sigma_H = 1.8x10^{-3}.\ S^{2/3}$ metros, onde S é a distância entre pontos (VANICEK & KRAKIWSKY, 1986). No nivelamento geométrico entre pontos adjacentes, a precisão é incomparável mesmo com as técnicas geodésicas mais atuais.

2.2.1.1 Instrumental

O estudo da metodologia a ser aplicada ao nivelamento geométrico de alta precisão, objeto deste trabalho, não prevê mudanças no instrumental utilizado, mas sim a otimização do seu uso. Estes equipamentos já foram descritos no item 2.1.2.1.

Ressalta-se aqui os procedimentos que devem ser adotados antes da utilização dos equipamentos em campo, de modo a minimizar todos erros que os instrumentos possam conter. Estes procedimentos dizem respeito a verificação, retificação e aferição/calibração. Cabe ser esclarecido o significado de cada um dos termos.

As palavras aferição e calibração estão reunidas nos termos *etalonnage* do francês e *calibration* do inglês, porém o INMETRO estabelece as seguintes definições para cada termo(INMETRO, 1989):

Aferição: "*conjunto de operações que estabelece, em condições específicas, a correspondência entre os valores indicados por um instrumento de medir ou por um sistema de medição ou por uma medida materializada e os valores verdadeiros convencionais correspondentes da grandeza verdadeira.*"

Calibração: "*conjunto de operações que estabelece, em condições específicas, a correspondência entre o estímulo e a resposta de um instrumento de medir, sistema de medição ou transdutor de medição.*"

Verificação: "*conjunto de operações, compreendendo o exame, a marcação ou selagem e (ou) emissão de um certificado e que constate que o instrumento de medir ou medida materializada satisfaz às exigências regulamentares.*"

Retificação: conjunto de operações que tem por finalidade a correção de um instrumento de medir, habilitando-o de acordo com as exigências regulamentares

2.2.1.2 Nível

Desde 1960 a DSG (BRASIL, 1960) ressalta a necessidade de verificar e retificar (se necessário) o nível uma vez ao mês, ou quando o instrumento tenha sofrido qualquer choque. Atendendo a esta orientação, os níveis WILD N3 foram verificados e retificados no LAIG, antes do início de cada nivelamento. Verificou-se a verticalidade do eixo principal, o paralelismo entre o eixo de colimação e o eixo do nível tubular, a amplitude do micrômetro e quando necessário foram feitas as suas correspondentes retificações.

São descritos a seguir os procedimentos adotados nestas verificações e retificações (DOUBEK, 1977).

Para a verificação da verticalidade do eixo principal, instala-se o nível sobre o tripé e procede-se à operação de calagem da bolha do nível tubular, com o maior rigor possível. Na seqüência gira-se a luneta de 180° . Se a bolha permanecer centrada o eixo principal estará perpendicular ao eixo do nível tubular. Neste caso não é necessário retificar o nível.

Contudo, constatando-se a necessidade de retificação, deve-se adotar o seguinte procedimento:

1) colocar a luneta paralela a dois parafusos calantes, com o maior rigor possível;
2) calar a bolha;
3) girar a luneta de 180° , prender o movimento e deixar a bolha estabilizar;
4) observar a magnitude do deslocamento em relação ao centro do nível tubular;
5) Corrigir a metade do erro com os parafusos calantes e a outra metade nos parafusos de retificação do nível tubular;
6) Repetir as operações de 1 a 4 e caso seja necessário, 5.

Como o LAIG possui uma bancada fixa, o mesmo procedimento de campo foi utilizado em laboratório, substituindo-se o tripé pela bancada, a qual permitia apenas a movimentação em torno do eixo vertical do instrumento.

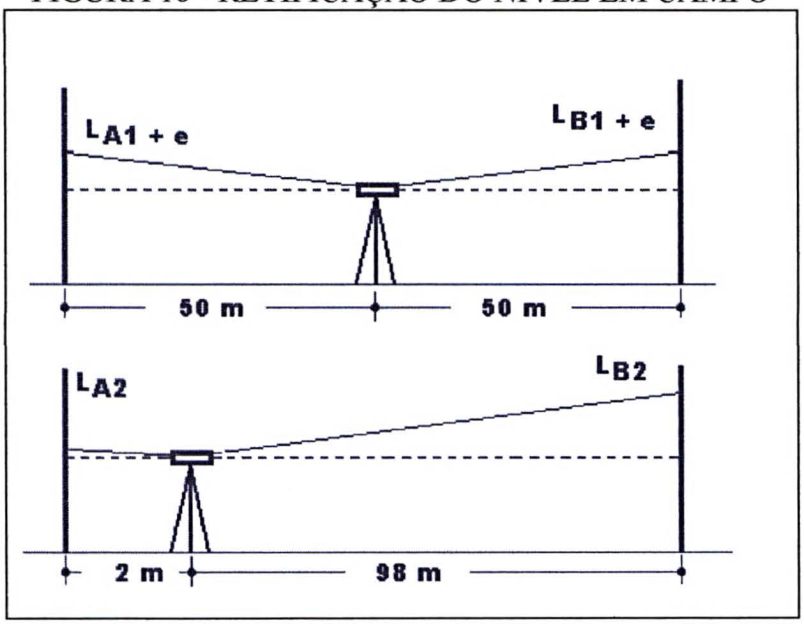
Para a verificação do erro de colimação, no método de campo, seleciona-se um terreno plano com aproximadamente 100 metros de comprimento, instalando-se o nível no ponto médio, uma mira em ré a 50m e outra em vante também a 50 metros, conforme ilustrado na Figura 16. Faz-se as leituras dos fios médios nas miras em ré e vante e obtém-se o desnível entre os pontos A e B.

$$\Delta H_{AB} = \text{Re} - \text{Vante} \tag{2.4}$$

$$\Delta H_{AB1} = (L_{A1} + e) - (L_{B1} + e) = L_{A1} - L_{B1} = \Delta H_{ABCORRETO} \tag{2.5}$$

O $\Delta H_{AB} = \Delta H_{ABCORRETO}$ é o valor do desnível isento do erro de colimação vertical do nível.

FIGURA 16 - RETIFICAÇÃO DO NÍVEL EM CAMPO



Coloca-se então o nível em uma nova posição, distante da mira A de 2 metros, e determina-se o ΔH_{AB2}.

Estando o nível retificado teremos que:

$$\Delta H_{ABCORRETO} = \Delta H_{AB2} \tag{2.6}$$

caso contrário o nível necessita ser retificado.

RETIFICAÇÃO - Sabe-se que $\Delta H_{AB1} = \Delta H_{ABCORRETO}$ e que a leitura L_{A2} está praticamente isenta de erro. Aplicando-se a equação 2.4, tem-se:

$$\Delta H_{AB1} = L_{A2} - \text{NovaLeitura} \tag{2.7}$$

$$\text{NovaLeitura} = L_{A2} - \Delta H_{AB1} \tag{2.8}$$

A retificação consiste em deslocar-se os fios do retículo sobre a mira, utilizando-se seus parafusos de retificação, até atingir-se o valor obtido na equação 2.8.

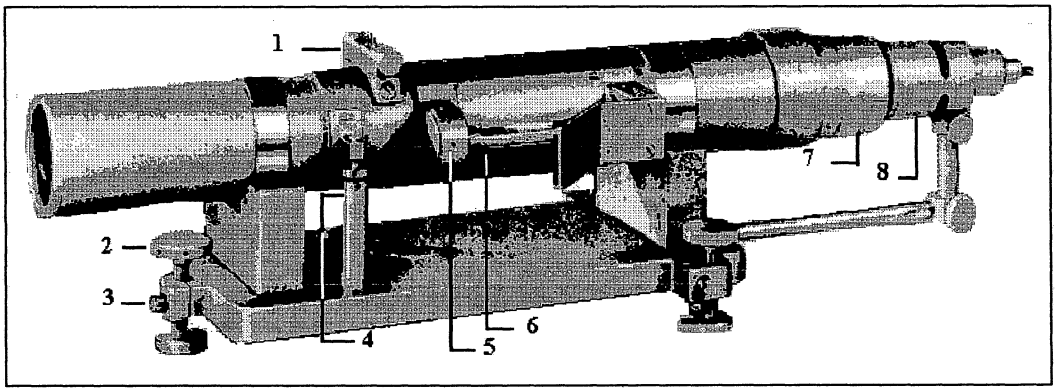
O procedimento em laboratório é feito com o auxílio de um colimador de ajuste (Figura 17). O disponível no LAIG tem as seguintes características: objetiva de 60 mm de diâmetro; distância focal de 500 mm; seu foco possui um retículo iluminado através de um filtro verde de uma lâmpada de tungstênio. O aparelho está fixo a um pilar de concreto, que funciona como um tripé, e possui um sistema de calagem que mantém o seu retículo rigorosamente na horizontal.

O nível é fixado na bancada, em frente ao pilar de concreto, de modo que a objetiva do colimador fique de frente à objetiva do nível. Tal procedimento se consegue através de um sistema de regulagem de altura que a bancada possui. Faz-se a pontaria do nível ao centro do retículo do colimador. Quando o fio horizontal do retículo do nível superpõe-se ao fio horizontal do retículo do colimador, diz-se que o nível está retificado; quando não ocorre esta sobreposição é necessário retificar o nível da seguinte forma: através dos parafusos de retificação do retículo (para níveis mecânicos e automáticos), faz-se a coincidência do retículo do nível com o retículo do colimador. Deve-se ressaltar que o mecanismo de retificação é composto de quatro parafusos, que devem ser trabalhados aos pares, no mesmo sentido e de igual valor, ou seja, ao girar-se um parafuso de um quarto de volta no sentido horário, o parafuso oposto a este também deve ser girado de um quarto de volta e no sentido horário.

Verifica-se também a amplitude do micrômetro da placa plano-paralela em laboratório, utilizando-se um segmento de mira estadimétrica acoplado a um micrômetro de alta resolução. Faz-se a coincidência de um traço da mira, pertencente ao sistema, com o retículo do nível e procede-se à leitura correspondente (L_1). Atua-se no micrômetro do sistema de modo que este percorra um centímetro em sua escala. Reposiciona-se o retículo de modo que este reocupe o mesmo traço da primeira leitura. Obtém-se uma nova leitura (L_2). A diferença entre L_1 e L_2

deve ser de um centímetro. O procedimento é repetido; a permanência da diferença sempre igual demonstra uma coerência entre o valor registrado pelo micrômetro da placa plano-paralela e o registrado pelo sistema disponível no LAIG.

FIGURA 17 - COLIMADOR DE AJUSTE.



Fonte: WILD, 1960

1 - nível transversal

2 - parafuso com furos para horizontalização

3 - parafuso de regulagem para parafuso calante

4 - pino para giro da luneta do eixo longitudinal

5 - parafuso de retificação do nível longitudinal

6 - nível longitudinal

7 - anel de proteção sobre parafusos de ajuste do retículo (centragem do eixo de colimação)

8 - lâmpada de tungstênio

Caso a diferença entre as leituras seja maior ou menor que um centímetro (no caso da mira centimétrica), o equipamento deve ser encaminhado à assistência técnica, pois o LAIG não possui instrumental para este tipo de retificação, uma vez que isto envolverá trabalhos corretivos no âmbito da mecânica de precisão.

2.2.1.3 Miras

Foram analisadas no LAIG doze pares de miras verticais de ínvar, pertencentes ao IBGE, visando a determinação da precisão da escala gravada na fita e da verificação da verticalização dada pelo nível esférico, retificando-o quando necessário. Os procedimentos associados a estas operações estão descritos em Faggion (1993). Daquele total, dois pares foram selecionados e utilizados nos nivelamentos, descritos oportunamente. Tais miras apresentaram respectivamente os menores (5270 - A e B) e os maiores (nº 5305743 - 3 e 4) erros de gravação da escala, constatados na aferição em laboratório, conforme consta nos seus certificados de aferição das referidas miras (ANEXO II).

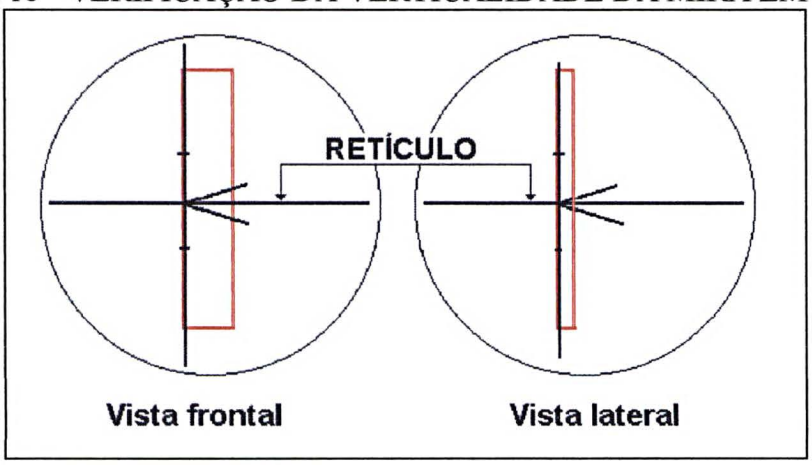
Para a verificação e retificação do nível esférico o IBGE utiliza o procedimento de campo descrito a seguir:

A comprovação é obtida deixando a mira suspensa por um fio de náilon enlaçado na sua parte superior, passando atrás da mira pela porca do parafuso que prende a extremidade da mola que sustenta a fita de ínvar. Na frente da mira o fio de náilon deve passar por um palito de fósforo colocado bem no centro da fita, entre ela e a cabeça metálica da mira. A parte superior do laço vai segurar um prego de duas polegadas fixado na linha de um telhado. Durante esta operação as alças da mira devem ficar fechadas. A mira nessa posição deve funcionar como um fio de prumo, sendo observado o seu nível esférico. Se ele não ficar bem centrado, deve-se acionar os três parafusos de retificação do nível, com o cuidado de não deixá-los frouxos após a operação.(IBGE, 1985)

Há ainda outro procedimento utilizado pelo IBGE (1985). Neste, o fio vertical do retículo do instrumento e a imagem da mira, posicionada a 50 metros do nível (ambos com

seus níveis rigorosamente centrados), são colocados em coincidência (fio vertical do retículo com uma das faces da mira, observando-a de baixo a cima).(Figura 18).

FIGURA 18 - VERIFICAÇÃO DA VERTICALIDADE DA MIRA EM CAMPO

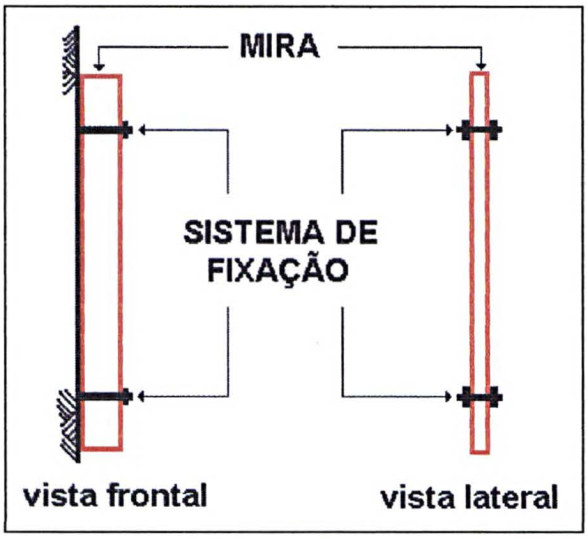


Gira-se a mira de 90° e a observa-se novamente. Havendo desvios, o porta-mira é instruído a posicionar a mira até a coincidência com o retículo do nível. Deste modo a bolha sairá da sua posição. Através dos três parafusos de retificação do nível esférico, sua bolha é novamente centralizada.

O LAIG possui um sistema para a verificação da verticalidade da mira, composto de dois suportes fixados a uma parede, os quais não permitem que a mira tenha movimentos nos eixos triortogonais (Figura 19). Este sistema foi calibrado através de uma mira nova e um prumo zenital. Após fixada a mira ao sistema, só é necessário verificar a posição da bolha. Se a mesma não estiver centralizada, basta atuar nos parafusos de retificação. Empregou-se este procedimento na verificação e retificação das miras utilizadas neste experimento.

Quanto à aferição da graduação, a mesma pode ser feita por comparação com o metro padrão, num comparador micrométrico óptico.

FIGURA 19 - SISTEMA DE VERIFICAÇÃO DA VERTICALIDADE DA MIRA EM LABORATÓRIO



O LAIG, em parceria com a Universidade de Karslsruhe, através do professor Harald Schlemmer, possui um sistema de aferição de miras de ínvar, que determina com precisão a distância entre o centro dos traços gravados na fita de ínvar utilizando como padrão de comprimento um interferômetro a laser. O resultado da aferição é apresentado em um certificado, contendo o afastamento real entre os traços gravados na fita de ínvar, o qual deve ser utilizado para correção das medidas obtidas em campo.

2.2.2 Efeitos Ambientais

Alguns fatores ambientais influenciam a qualidade do nivelamento geométrico de precisão. Sabe-se que é impossível o controle preciso destes fatores. Porém, é possível a sua minimização a um nível inferior ao da resolução do instrumento. A minimização de muitas fontes de erro já ocorre quando utiliza-se a operação do nivelamento e contra nivelamento e a eqüidistância das visadas de vante e ré. Com isto em mente, cabe ser destacados:

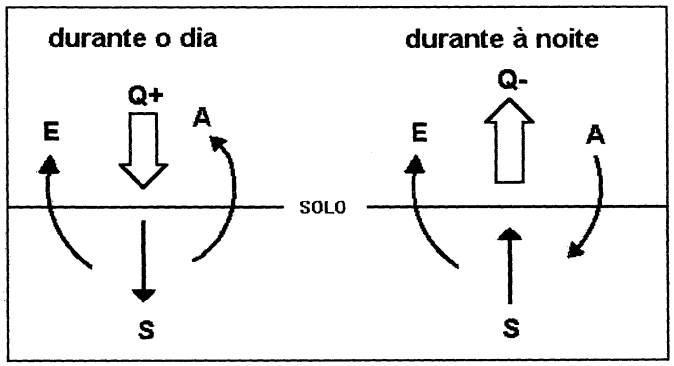
a) efeito micro-climático ao longo da linha de visada:

A Terra recebe radiação solar em forma de ondas eletromagnéticas, que se distribui de forma variável ao atravessar a atmosfera. Uma parte desta radiação atinge a superfície terrestre, que funciona como receptor e emissor de radiação. Esta troca entre a atmosfera e a superfície terrestre é conhecida como balanço de radiação, e é variável no decorrer dos dias e do ano, acarretando variações diárias e anuais nas temperaturas do solo e do ar.

Segundo Tubelis e Nascimento (1986), a radiação absorvida pelo solo é maior que a irradiada pelo mesmo durante o dia. Esta energia (Q) é dividida em três fluxos: (A) fluxo de calor utilizado para o aquecimento do ar, (S) fluxo de calor absorvido pelo solo e (E) fluxo de calor latente absorvido na evaporação.

Tem-se duas situações de fluxo de calor: de dia e de noite, conforme ilustrado na Figura 20. As trocas de calor entre as camadas de ar ocorrem progressivamente de baixo para cima, só ocorrendo a 2 m de altura, aproximadamente após 2 horas de insolação depois do amanhecer. Estas trocas de energia nas camadas de ar influenciam diretamente a linha de visada, afastando-a da linha de colimação. Os efeitos manifestam-se com a formação de células convectivas próximas ao solo que causam mudanças súbitas de densidade e, consequentemente, variação no índice de refração do ar. Deste modo há uma perturbação no caminho óptico da visada, que depende do horário do levantamento, do desnível observado, das condições climáticas da região (NOAA, 1981) e principalmente do comprimento da visada. Ao entardecer há a inversão nos fluxos de aquecimento do ar e do solo, e novamente ocorre a formação de células convectivas que perturbam o caminho óptico da linha de visada.

FIGURA 20 - ENERGIA REFLETIDA



Fonte: TUBELIS e NASCIMENTO, 1986

Percebe-se então três fenômenos distintos:

a.1) Refração Nivelítica - curvatura do caminho óptico por refração, função do gradiente térmico (mínimo ao meio dia) e desnível entre os pontos extremos das visadas; os seus efeitos só são detectados quando da realização dos cálculos, no fechamento do nivelamento e contra nivelamento;

a. 2) Flutuação - variação cíclica da temperatura nas camadas próximas ao solo, devido à composição de convecção com irradiação. O efeito manifesta-se com a flutuação do traço de leitura da mira com amplitudes grandes (maiores de 1 mm para visadas de 50 m - KUKKAMAKI, 1945) em períodos de até 5 minutos, principalmente ao amanhecer. Muitas vezes o efeito não é percebido devido ao pequeno espaço de tempo gasto na leitura da visada;

a.3) Reverberação - oscilações de curto período, devidas às variações de alta freqüência do índice de refração que causam oscilações da linha de leitura em torno de uma posição central. Ocorre principalmente nos horários de maior insolação; ela é mais facilmente percebida quando as visadas forem longas e feitas nas imediações do solo.

b) instabilidade do solo:

O solo é constituído de diferentes camadas, e cada uma com características próprias. Devido a este fato torna-se necessário avaliar o solo onde pretende-se instalar uma RN (FLOYD, 1980). Como exemplo podemos citar uma região que possua um lençol freático próximo à superfície e que em um determinado período passe por uma estiagem. Se medições forem realizadas neste período, com certeza haverá a determinação de um rebaixamento neste local, e que poderá interferir na precisão requerida no nivelamento geodésico de alta precisão.

c) apoios intermediários:

Tendo em vista que os apoios intermediários possuem uma pequena área de fixação (com pequena fundação), estes ficam sujeitos a movimentações (como por exemplo na hora de rotacionar a mira para a leitura de um novo lance), introduzindo erros somente percebidos na comparação entre nivelamento e contra nivelamento.

d) marcos monumentados:

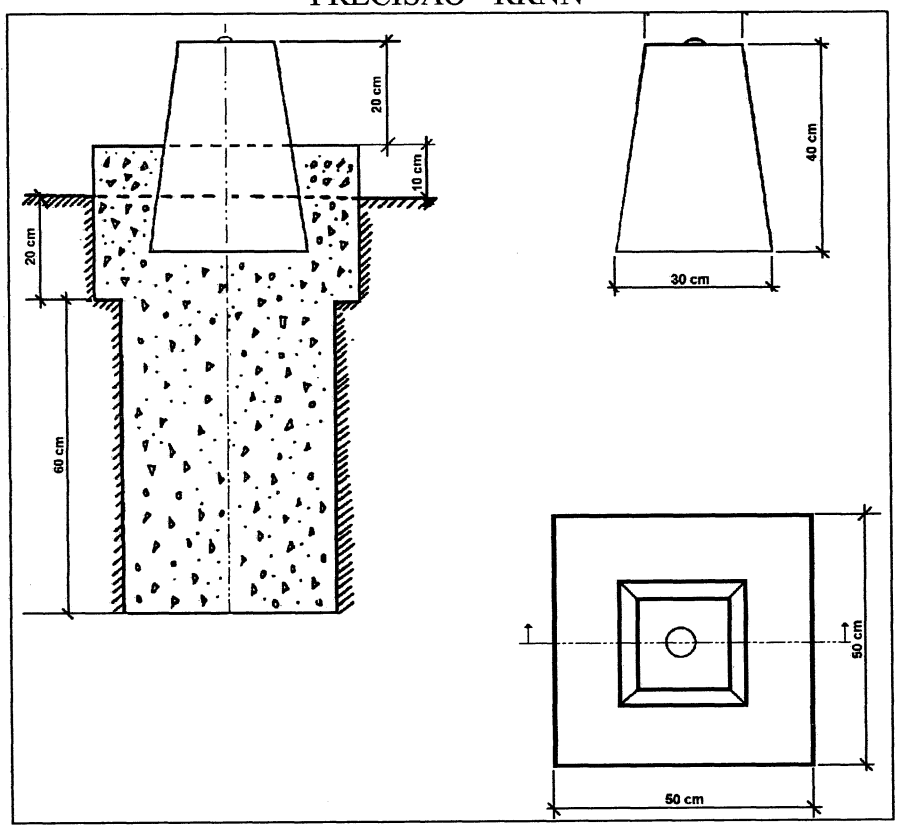
De acordo com IBGE (1988), os marcos são constituídos de duas partes distintas: fundação e marco principal (Figura 21).

O marco principal tem o formato de tronco de pirâmide , com base quadrangular de 30 cm de lado, topo quadrangular de 18 cm de lado e 40 cm de altura (modelo A). Sobre o centro do topo, fixa-se a chapa, padrão IBGE, no momento em que a massa adquire consistência suficiente.

Sendo a RN construída de duas partes distintas (inclusive confeccionadas em períodos distintos), não se pode considerá-la como uma única estrutura.

Nos Estados Unidos utiliza outro modelo de monumentação (NOAA,1978), porém tornam-se caros sua utilização no Brasil.

FIGURA 21 - MARCOS PRINCIPAIS DE PONTOS ALTIMÉTRICOS DE ALTA PRECISÃO - RRNN



Fonte: IBGE, 1988

3 REDE ALTIMÉTRICA CIENTÍFICA DA UFPR

3.1 IMPLANTAÇÃO

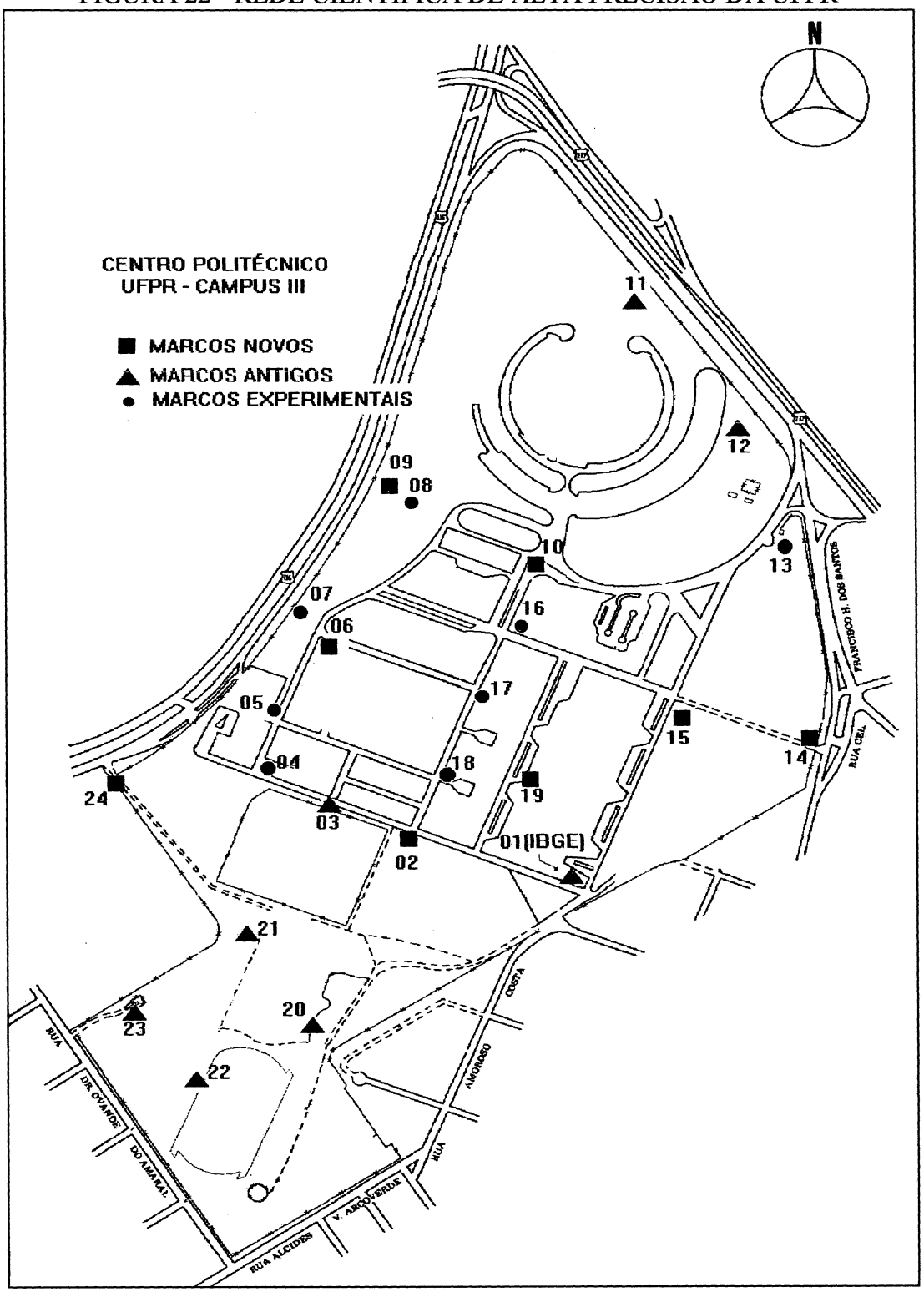
Para a realização dos estudos relacionados com o nivelamento geométrico de alta precisão, objeto deste trabalho, foi implantada uma rede científica altimétrica na UFPR. Tal decisão foi tomada tendo em vista que o campus do Centro Politécnico (UFPR) já possuía um ponto altimétrico de precisão (RN), ligado ao Sistema Geodésico Brasileiro, que a topografia local tornava possível o planejamento de linhas de nivelamento com diferentes características, tais como: comprimentos diversos; variações de declives (de 30 cm a 15 m), e devido à facilidade de execução dos levantamentos neste local.

A construção das RRNN ocorreu no primeiro semestre de 1995, com recursos financeiros do projeto "Otimização de Levantamentos Geodésicos" executado pelo LAIG com o apoio do CNPq.

3.1.1 Área

A rede fica localizada no C.P., situado entre as rodovias BR 116 e BR 277 (sentido Paranaguá). Ela possui uma extensão de 7,3 km e é constituída de 24 pontos (Figura 22).

FIGURA 22 - REDE CIENTÍFICA DE ALTA PRECISÃO DA UFPR



3.1.2 Tipos de Marcos

Os vinte e quatro pontos são divididos em três categorias distintas (Figura 22):

a) oito marcos antigos (já existentes no C.P.), baseados no padrão IBGE para pontos altimétricos de precisão (IBGE, 1988). Um destes pontos pertence à rede altimétrica brasileira, e possui altitude conhecida;

b) oito marcos novos modificados a partir do padrão. Considerando a necessidade de se efetuar estudos de estabilidade e também a existência de problemas anteriores de destruição de RRNN, pensou-se em algumas modificações na estrutura das mesmas. Essas modificações dizem respeito ao aumento da área de apoio da fundação e a confecção da RN numa única peça (Figura 23). Os marcos novos foram implantados de modo a abrangerem todo o C.P., e preencher vazios existentes na área em questão;

c) oito marcos experimentais de menor estabilidade, como os usualmente empregados nas redes secundárias;

3.1.3 Circuitos

A rede científica ficou composta de 10 circuitos, os quais tem em média 600 m de perímetro. Os mesmos foram determinados de modo a englobarem regiões mais adensadas (próximo aos blocos) e regiões mais isoladas (gramado e bosque do Campus), de tal forma a cobrir toda a extensão do Campus III, local do experimento (Figura 24).

FIGURA 23 - MARCOS PRINCIPAIS MODIFICADOS PARA PONTOS ALTIMÉTRICOS DE ALTA PRECISÃO DA REDE CIENTÍFICA DA UFPR

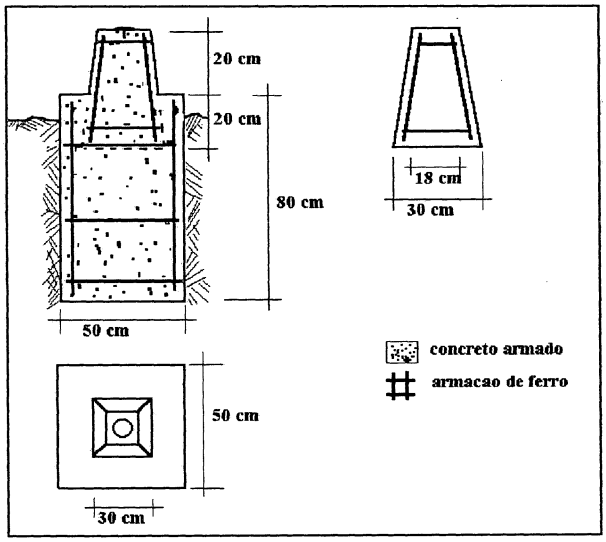
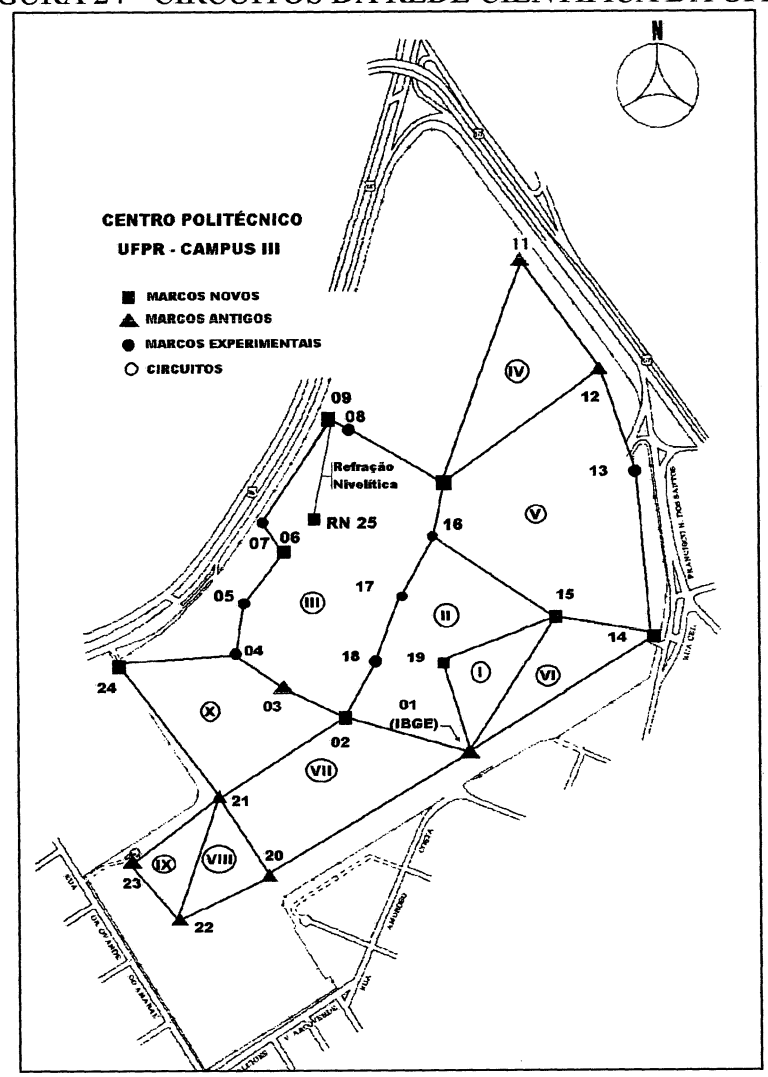


FIGURA 24 - CIRCUITOS DA REDE CIENTÍFICA DA UFPR



3.2 MEDIÇÃO E REDUÇÃO DAS OBSERVAÇÕES

Após a implantação da rede iniciou-se uma fase de treinamento da equipe de campo, composta de um nivelador, dois porta-miras e um anotador, todos alunos de graduação do curso de Engenharia Cartográfica e um aluno do CPGCG. Todos os alunos eram vinculados ao LAIG através de bolsas de estudo (Iniciação científica e Aperfeiçoamento). Como a equipe não possuía prática de campo no manuseio dos equipamentos, o treinamento durou aproximadamente seis meses, de modo que o operador do nível, alcançou a precisão requerida de, no mínimo, 1 mm $\sqrt{K}$.

3.2.1 Nivelamentos Efetuados

Durante o período de 1995 a 1998, foram realizadas duas campanhas. Em cada uma delas utilizaram-se dois pares de miras aferidas, designadas aqui de miras A/B e 3/4 .

TABELA 01 - CAMPANHAS DOS NIVELAMENTOS

	MIRAS	
CAMPANHAS	A/B	3/4
I	JUL - DEZ/95	OU/95 - JAN/96
II	SET/96 - FEV/97	ABR - AGO/96

A Tabela 02 detalha os dias e os horários dos nivelamentos realizados nas campanhas das miras A/B e 3/4.

TABELA 02 - DISCRIMINAÇÃO DAS CAMPANHAS

CAMPANHA I							
MIRAS A e B				MIRAS 3 e 4			
		HORA (h min)				HORA (h min)	
LINHA	DATA	INÍCIO	FIM	LINHA	DATA	INÍCIO	FIM
01-02	19/07/95	10 05	10 45	01-02	13/11/95	08 20	08 50
02-01	19/07/95	10 50	11 30	02-01	13/11/95	11 10	11 50
01-14	04/10/95	08 20	09 40	01-14	19/12/95	09 50	10 40
14-01	11/10/95	08 20	09 40	14-01	22/12/95	08 50	10 00
01-15	18/07/95	08 10	10 15	01-15	08/11/95	08 10	08 40
15-01	19/07/95	09 10	10 00	15-01	08/11/95	10 59	11 25
01-19	31/07/95	08 30	09 15	01-19	08/01/96	09 41	10 03
19-01	27/07/95	14 30	17 10	19-01	08/01/96	09 05	09 36
01-20	13/09/95	08 23	09 30	01-20	04/01/96	08 26	09 11
20-01	13/09/95	09 35	10 55	20-01	04/01/96	09 21	10 00
02-03	25/07/95	09 00	09 30	02-03	05/01/96	08 25	08 47
03-02	31/07/95	10 35	11 12	03-02	09/01/96	08 35	09 00
02-10	*	*	*	02-10	13/11/95	08 50	*
10-02	*	*	*	10-02	13/11/95	09 50	10 35
02-21	18/07/95	08 45	10 10	02-21	12/01/96	08 30	09 30
21-02	23/10/95	10 18	11 45	21-02	15/01/96	08 30	09 30
03-06	31/07/95	10 05	10 30	03-06	*	08 45	09 20
06-03	26/07/95	09 30	10 25	06-03	27/11/95	10 36	10 55
03-24	31/07/95	10 05	10 30	03-24	*	08 45	09 20
24-03	11/12/95	08 45	09 30	24-03	19/01/96	09 40	10 40
06-09	07/08/95	09 05	09 35	06-09	20/12/95	08 45	09 10
09-06	01/08/95	08 25	08 56	09-06	09/01/96	09 10	09 40
06-10	07/08/95	09 55	10 45	06-10	25/10/95	10 15	10 45
10-06	07/08/95	08 20	09 05	10-06	25/10/95	10 15	10 45
09-10	14/08/95	08 56	09 21	09-10	21/12/95	10 10	11 00
10-09	09/08/95	10 20	10 42	10-09	19/12/95	09 50	10 40
10-11	16/08/95	08 30	09 40	10-11	02/01/96	09 29	10 15
11-10	16/08/95	09 40	10 45	11-10	02/01/96	08 30	09 28
10-12	09/08/95	08 30	09 30	10-12	03/01/96	09 05	09 40
12-10	09/08/95	09 30	10 20	12-10	03/01/96	09 40	10 20
10-15	24/07/95	08 15	09 15	10-15	18/12/95	10 05	10 20
15-10	24/07/95	09 30	10 05	15-10	08/12/95	08 35	09 14
11-12	01/08/95	13 50	15 00	11-12	27/11/95	08 30	08 55
12-11	01/08/95	15 00	16 15	12-11	08/11/95	09 26	09 55
12-14	01/08/95	13 50	15 00	12-14	08/11/95	09 59	10 28
14-12	02/08/95	09 40	10 30	14-12	22/12/95	10 15	10 52
12-15	01/08/95	13 50	15 00	12-15	08/11/95	10 28	10 55
15-12	02/08/95	09 40	10 30	15-12	08/11/95	08 42	09 04
14-15	24/07/95	11 25	12 00	14-15	19/05/95	10 40	11 25
15-14	24/07/95	10 45	11 25	15-14	19/12/95	08 20	09 00
15-19	27/07/95	15 40	14 30	15-19	08/01/96	08 25	*
19-15	27/07/95	14 55	15 30	19-15	08/01/96	10 09	10 20
20-21	28/08/95	09 45	10 15	20-21	30/10/95	09 08	09 37
21-20	28/08/95	10 15	10 55	21-20	30/10/95	10 10	10 30
20-22	25/10/95	08 00	08 40	20-22	30/10/95	10 40	11 10
22-20	25/10/95	08 45	09 25	22-20	30/10/95	11 10	11 40
21-22	28/08/95	10 55	11 25	21-22	25/10/95	11 10	11 30
22-21	28/08/95	09 15	09 45	22-21	25/10/95	10 15	10 45
21-23	18/10/95	10 15	10 50	21-23	12/01/96	09 30	10 15
23-21	23/10/95	08 22	08 50	23-21	12/01/96	11 06	11 30
21-24	29/11/95	08 50	09 40	21-24	15/01/96	09 31	10 12
24-21	29/11/95	09 40	10 30	24-21	15/01/96	10 15	10 56
22-23	23/08/95	10 25	11 15	22-23	12/01/96	10 38	11 00
23-22	28/08/95	08 30	09 15	23-22	12/01/96	10 15	10 37

Obs: (*) dado incompleto

CAMPANHA II							
MIRAS A e B				MIRAS 3 e 4			
		HORA (h min)				HORA (h min)	
LINHA	DATA	INÍCIO	FIM	LINHA	DATA	INÍCIO	FIM
01-02	18/09/96	09 25	10 00	01-02	12/06/96	09 55	10 45
02-01	18/09/96	10 05	10 50	02-01	12/06/96	10 55	11 05
01-14	07/11/96	09 03	9 50	01-14	15/07/96	09 50	11 30
14-01	25/11/96	09 10	10 12	14-01	12/07/96	10 20	11 45
01-15	23/10/96	09 10	10 00	01-15	22/05/96	08 50	09 50
15-01	23/10/96	10 00	11 05	15-01	22/05/96	09 55	10 55
01-19	31/10/96	08 53	09 35	01-19	03/07/96	09 35	10 35
19-01	24/10/96	11 08	11 50	19-01	03/07/96	10 45	11 30
01-20	23/09/96	08 50	09 55	01-20	18/06/96	08 55	10 55
20-01	23/09/96	*	*	20-01	19/06/96	08 50	10 30
02-03	30/09/96	08 33	09 10	02-03	05/06/96	09 05	09 35
03-02	02/10/96	11 20	12 00	03-02	05/06/96	09 40	10 05
02-10	19/09/96	09 35	10 45	02-10	**		
10-02	19/09/96	10 48	11 52	10-02	14/02/97	09 18	10 43
02-21	15/01/97	08 30	09 45	02-21	17/02/97	08 55	10 15
21-02	14/01/97	10 28	11 15	21-02	**		
03-06	**			03-06	**		
06-03	**			06-03	**		
03-24	**			03-24	**		
24-03	**			24-03	**		
06-09	**			06-09	**		
09-06	**			09-06	**		
06-10	**			06-10	**		
10-06	**			10-06	**		
09-10	**			09-10	**		
10-09	**			10-09	**		
10-11	29/01/97	08 49	09 45	10-11	31/07/96	09 30	11 20
11-10	16/01/97	10 10	10 50	11-10	02/08/96	08 55	10 35
10-12	28/11/96	10 05	11 00	10-12	24/07/96	09 50	11 05
12-10	28/11/96	09 07	10 03	12-10	25/07/96	09 00	10 05
10-15	**			10-15	**		
15-10	**			15-10	**		
11-12	28/04/96	*	*	11-12	30/04/96	10 20	10 50
12-11	07/11/96	*	*	12-11	30/04/96	08 40	09 40
12-14	**			12-14	**		
14-12	**			14-12	**		
12-15	**			12-15	**		
15-12	**			15-12	**		
14-15	14/11/96	09 42	10 20	14-15	27/05/96	09 00	10 00
15-14	14/44/96	10 23	11 30	15-14	03/06/96	09 00	10 00
15-19	24/10/96	09 10	10 08	15-19	04/07/96	09 30	10 35
19-15	24/10/96	*	*	19-15	05/07/96	08 45	09 40
20-21	15/01/97	09 50	10 10	20-21	10/05/96	08 45	09 40
21-20	15/01/97	10 15	10 30	21-20	13/05/96	08 45	09 30
20-22	13/01/97	8 50	09 33	20-22	14/05/96	08 45	09 40
22-20	13/01/97	13 58	14 36	22-20	10/05/96	10 10	10 50
21-22	09/01/97	09 30	10 15	21-22	10/05/96	09 40	10 10
22-21	13/01/97	*	*	22-21	13/05/96	09 45	10 15
21-23	13/01/97	10 05	10 54	21-23	15/05/96	09 45	10 30
23-21	09/01/97	10 55	11 40	23-21	15/05/96	08 50	09 00
21-24	09/01/97	14 30	15 25	21-24	21/05/96	08 40	10 00
24-21	14/01/97	09 40	10 24	24-21	21/05/96	10 10	11 15
22-23	09/01/97	10 20	10 55	22-23	14/05/96	10 35	11 10
23-22	09/01/97	*	*	23-22	14/05/96	10 05	10 35

(**) composição de linhas

Em 1998 o LAIG adquiriu um nível digital NA 3003 com miras verticais de ínvar com graduação em código de barras. Realizou-se então uma terceira campanha para analisar e comparar os resultados obtidos nas duas campanhas anteriores.

3.2.2 Instrumental

O estudo da metodologia a ser aplicada ao nivelamento geométrico de alta precisão, objeto deste trabalho, não prevê mudanças no instrumental utilizado, mas sim a otimização do seu uso. Estes equipamentos já foram descritos no item 2.1.2.1.

3.2.3 Operação

O método adotado para o nivelamento geométrico de alta precisão foi o das visadas iguais. Porém, algumas alterações foram introduzidas no método com o objetivo de atingir precisões superiores às preconizadas pelas normas (IBGE, 1983). Tais alterações constaram de:

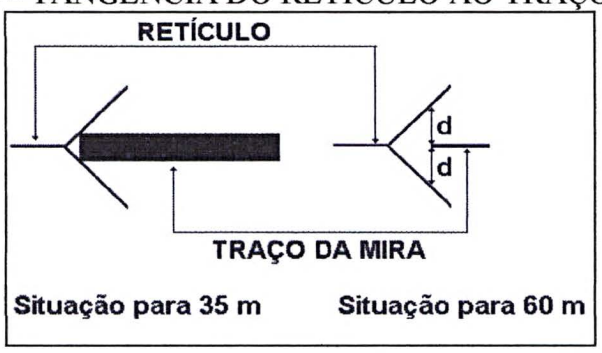
a - diminuição na diferença de distância entre os comprimentos das visadas de ré e vante, para uma mesma estação do nível, para 1,5 metros, pretendendo-se minimizar os erros de curvatura da terra, refração atmosférica e colimação;

b - visadas inferiores a 35 metros, pois, nas visadas superiores, a imagem do traço da mira diminui, e não se obtém a tangência com os fios do retículo, sendo necessário estimar uma distância "d", conforme Figura 25. A diminuição do comprimento da visada minimiza também o efeito da refração nivelítica e da flutuação;

c - redução da tolerância para a constante da mira, de 0,0002 para 0,0001m;

d - leituras acima de 30 cm do solo (minimização do efeito da reverberação) e abaixo de 270 cm, evitando-se oscilações nos extremos das miras oriundas dos ventos.

FIGURA 25 - TANGÊNCIA DO RETÍCULO AO TRAÇO DA MIRA

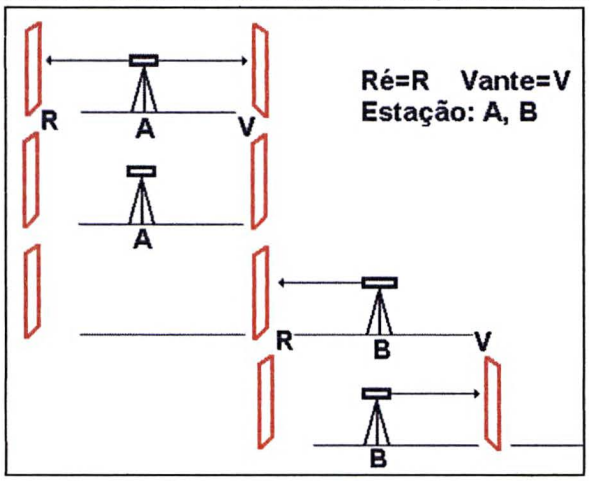


e - número par de lances, como previsto pelas normas, resultando deste modo que a mira de início de uma seção seja sempre a mira de término. Este procedimento elimina o erro de índice além de facilitar a otimização da caderneta na planilha Excel;

f - conforme o estudo realizado sobre a refração nivelítica, apresentado na seqüência deste trabalho, evitam-se os horários críticos em que este efeito ocorre de forma mais acentuada, ou seja, as duas primeiras horas após o Sol nascer e as duas últimas horas antes do Sol se pôr;

g - cuidados adicionais na movimentação (rotação) da mira sobre a sapata nas estações intermediárias. O porta mira de vante, após posicionar a mira para a nova estação, sinaliza ao nivelador para que este saía da estação ocupada (A) e se posicione na nova estação (B). Procede-se a nova leitura de ré. Somente depois desta operação é que o porta mira de ré, da estação anterior (A), pode ser liberado para ocupar sua nova posição como mira de vante na nova estação (B). Este procedimento é mostrado esquematicamente na Figura 26.

FIGURA 26 - PROCEDIMENTO DE CAMINHAMENTO PARA LEITURA DAS MIRAS



3.2.4 Automação das Cadernetas de Campo

O nivelamento geométrico é um processo simples e repetitivo, resultando em uma caderneta de campo com uma estrutura bem definida. A aplicação do certificado de aferição também é um processo simples, porém trabalha-se com uma quantidade elevada de dados. Por exemplo, uma mira centimétrica, com 3 metros de comprimento, tem pouco menos de 300 traços em cada lado da fita de ínvar, logo cerca de 1200 valores de aferição, de cada par de miras.

Tendo em vista estes aspectos, criou-se uma caderneta automatizada de campo, com o auxílio do software Excel, o qual aplica os certificados das MVI em tempo real e calcula:

- distâncias das seções (parcial e total), através dos fios estadimétricos lidos nas miras de ré e vante;

- desníveis (parcial e total) da linha nivelada (ou contra nivelada);

- valor da constante da mira, avisando quando este está fora do intervalo estabelecido.

Para realizar todos os itens anteriormente citados, gerou-se um arquivo contendo 56 planilha, as quais são divididas em três categorias:

I - PLANILHA 1: armazenamento dos dados dos certificados das MVI (Figura 27);

II - PLANILHA 2: caderneta automatizada básica (Figura 28);

III - PLANILHAS 3 a 56: cadernetas automatizadas com os dados de campo. (Figura 29).

No ANEXO III apresenta-se um exemplo completo de aplicação da planilha. Para que os dados de campo pudessem ser corrigidos através da caderneta automatizada. Foi necessário introduzir na planilha 1 os dados dos certificados das MVI das miras utilizadas no nivelamento. Estes dados, porém, precisaram ser alocados de forma coerente ao programado na caderneta (planilha 2). Tal procedimento é apresentado no ANEXO IV.

FIGURA 27 - PLANILHA 1

Microsoft Excel - Abzul

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela ?

	A	B	C	D	E	F	G
1	MIRA 5270-A				MIRA 5270-B		
2							
3							
4			(cm)				(cm)
5							
6	6	10.003	1,0003		6	10.003	1,0003
7	7	20.009	2,0009		7	20.004	2,0004
8	8	29.998	2,9998		8	30.003	3,0003
9	9	40.011	4,0011		9	40.012	4,0012
10	10	50.001	5,0001		10	50.003	5,0003
11	11	60.011	6,0011		11	59.998	5,9998
12	12	70.004	7,0004		12	70.002	7,0002
13	13	80.002	8,0002		13	80.001	8,0001
14	14	89.996	8,9996		14	89.995	8,9995
15	15	100.011	10,0011		15	100.005	10,0005
16	16	109.996	10,9996		16	109.994	10,9994
17	17	120.003	12,0003		17	120.008	12,0008
18	18	130.005	13,0005		18	130.001	13,0001
19	19	140.004	14,0004		19	140.009	14,0009
20	20	150.007	15,0007		20	150.012	15,0012
21	21	159.999	15,9999		21	159.999	15,9999
22	22	170.000	17,0000		22	170.001	17,0001
23	23	180.003	18,0003		23	180.003	18,0003
24	24	189.998	18,9998		24	189.999	18,9999

Plan1 / Plan2 / Plan3 / Plan4 / Plan5 / Plan6 / Plan7

Pronto Soma=0

FIGURA 28 - PLANILHA 2

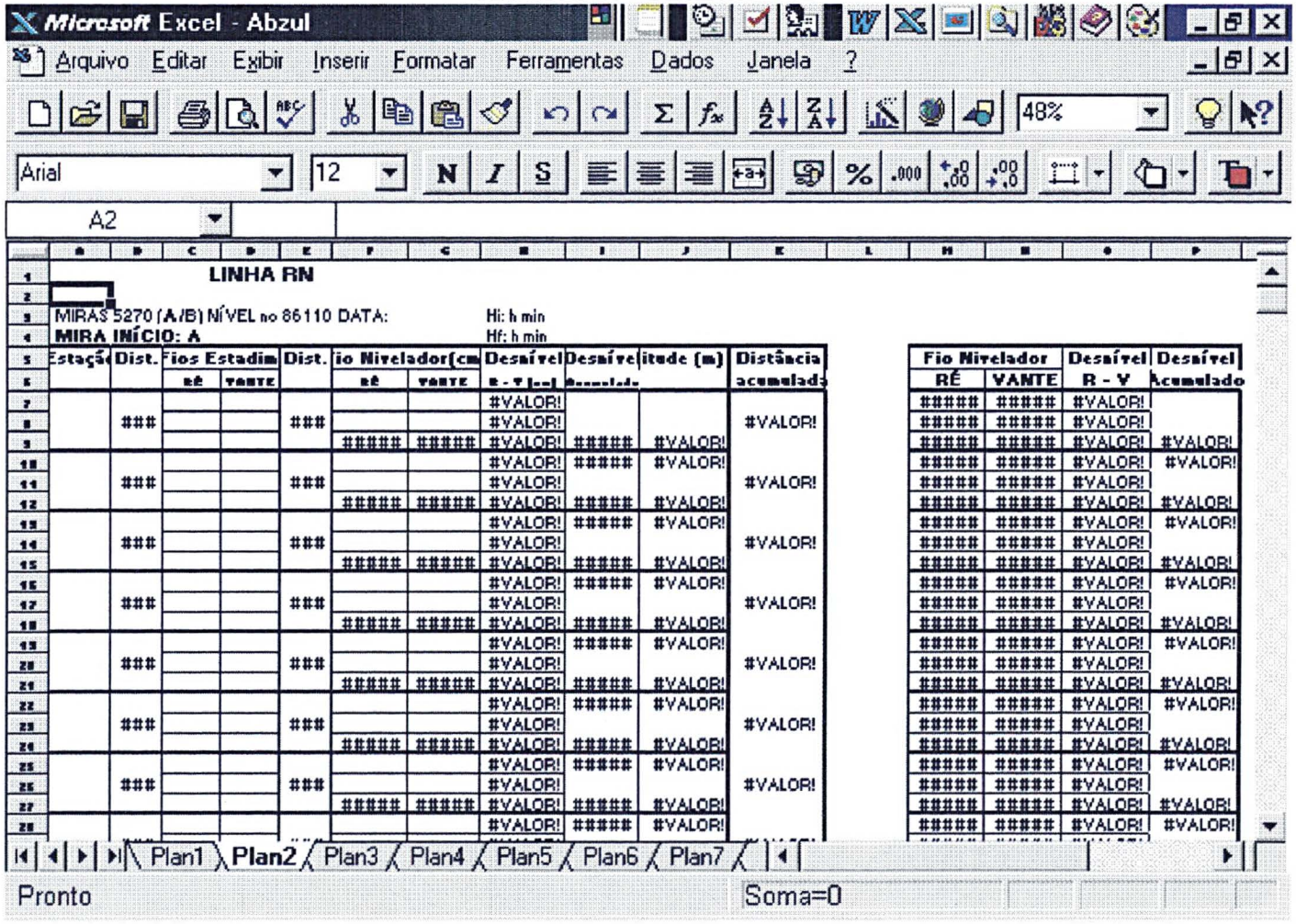


FIGURA 29 - PLANILHA 3

Microsoft Excel - Abzul

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela ?

Arial 12 50%

E23 =ABS((D23-D22)-0,2)

LINHA RN 01/02

MIRAS 5270 (A/B) NÍVEL no 86110 DATA: 19/07/95 Hi: 10h 05min

MIRA INÍCIO: A Hf: 10h 45min

Estação	Dist.	Fios Estadim. RÉ	Fios Estadim. VANTE	Dist.	Fio Nivelador(cm) RÉ	Fio Nivelador(cm) VANTE	Desnível R - V (cm)	Desnível acumulado	Altitude (m)	Distância acumulada	Fio Nivelador RÉ	Fio Nivelador VANTE	Desnível R - V	Desnível Acumulado
RN-01		140,8	152,2		150,199	161,879	-11,680				#####	#####	-11,6810	
	18,2	159,2	169,8	17,4	451,752	463,429	-11,677			35,6	#####	#####	-11,6776	
A					301,553	301,550	-11,679	-11,679	#VALOR!		FALSO	FALSO	-11,6793	-11,679
A		155,0	155,4		166,527	167,556	-1,029	-11,679	#VALOR!		#####	#####	-1,0283	-11,679
	21,8	177,0	178,6	23,0	468,078	469,111	-1,033			80,4	#####	#####	-1,0332	
B					301,551	301,555	-1,031	-12,710	#VALOR!		FALSO	FALSO	-1,0308	-12,710
B		152,6	165,4		164,520	177,305	-12,785	-12,710	#VALOR!		#####	#####	-12,7847	-12,710
	22,6	175,4	188,6	23,0	466,072	478,855	-12,783			126,0	#####	#####	-12,7817	
C					301,552	301,550	-12,784	-25,494	#VALOR!		FALSO	FALSO	-12,7832	-25,493
C		149,9	160,6		162,366	173,251	-10,885	-25,494	#VALOR!		#####	#####	-10,8842	-25,493
	24,0	174,1	185,4	24,6	463,922	474,802	-10,880			174,6	#####	#####	-10,8799	
D					301,556	301,551	-10,883	-36,376	#VALOR!		FALSO	FALSO	-10,8821	-36,375
D		147,2	144,2		157,958	154,538	3,420	-36,376	#VALOR!		#####	#####	3,4194	-36,375
	19,4	166,8	163,8	19,4	459,511	456,088	3,423			213,4	#####	#####	3,4215	
E					301,553	301,550	3,421	-32,955	#VALOR!		FALSO	FALSO	3,4204	-32,955
E		144,2	183,9		154,601	194,683	-40,082	-32,955	#VALOR!		#####	#####	-40,0806	-32,955
	19,4	163,8	204,1	20,0	456,154	496,239	-40,085			252,8	#####	#####	-40,0820	
RN-02V					301,553	301,556	-40,084	-73,038	#VALOR!		FALSO	FALSO	-40,0813	-73,036
RN-02V		167,5	128,2		172,075	132,979	39,096	-73,038	#VALOR!		#####	#####	39,0969	-73,036
	6,8	174,5	135,8	7,4	473,626	434,531	39,095			267,0	#####	#####	39,0953	

Plan1 Plan2 **Plan3** Plan4 Plan5 Plan6 Plan7

Pronto Soma=20,0

A caderneta automatizada básica (PLANILHA 2) foi constituída de duas partes, tendo como modelo a caderneta "G-4" da DSG (Figura 30). É somente na primeira parte que o anotador digita os dados lidos nas miras (fios estadimétricos e niveladores de ré e vante).

FIGURA 30 - DIVISÕES DA CADERNETA AUTOMATIZADA

LINHA RN-22/RN-23

MIRAS 5270 (A/B) NÍVEL no 86110 DATA: 23/08/95 Hi: 10h 25min
MIRA INÍCIO: A Hf: 11h 15min

Estação	Dist.	Fios Estadim. RÉ	Fios Estadim. VANTE	Dist.	Fio Nivelador(cm) RÉ	Fio Nivelador(cm) VANTE	Desnível R - V (cm)	Desnível Acumulado	Altitude (m)	Distância acumulada	Fio Nivelador RÉ	Fio Nivelador VANTE	Desnível R - V
RN-22		254,6	104,2		262,679	112,906	149,773				257,679	107,907	149,772
	14,6	269,4	119,8	15,4	564,235	414,460	149,775			30,0	255,233	105,459	149,774
A					301,556	301,554	149,774	149,774	#VALOR!		FALSO	FALSO	149,773
A		200,2	178,5		209,225	187,149	22,076	149,774	#VALOR!		204,226	182,149	22,077
	17,4	217,8	195,5	16,8	510,778	488,701	22,077			64,2	201,777	179,700	22,077
B					301,553	301,552	22,077	171,851	#VALOR!		FALSO	FALSO	22,077
B		187,0	74,5		191,495	79,659	111,836	171,851	#VALOR!		186,494	74,659	111,835
	7,8	195,0	83,6	8,9	493,051	381,218	111,833			80,9	184,049	72,216	111,833
C					301,556	301,559	111,835	283,685	#VALOR!		FALSO	FALSO	111,834
C		257,0	77,8		261,801	82,102	179,699	283,685	#VALOR!		256,802	77,103	179,699
	7,8	265,0	86,2	8,2	563,354	383,654	179,700			96,9	254,354	74,653	179,701
D					301,553	301,552	179,700	463,385	#VALOR!		FALSO	FALSO	179,700
D		270,0	108,8		274,442	113,891	160,551	463,385	#VALOR!		269,443	108,891	160,552
	7,8	278,0	117,6	8,6	575,995	415,442	160,553			113,3	266,993	106,441	160,552
E					301,553	301,551	160,552	623,937	#VALOR!		FALSO	FALSO	160,552
E		176,6	179,2		186,864	189,122	-2,258	623,937	#VALOR!		181,865	184,121	-2,256
	18,6	195,4	198,8	19,4	488,421	490,678	-2,257			151,3	179,421	181,676	-2,255
RN-23					301,557	301,556	-2,258	621,679	#VALOR!		FALSO	FALSO	-2,256

PRIMEIRA PARTE DA PLANILHA - LOCAL A SEREM DIGITADOS OS DADOS COLHIDOS EM CAMPO

SEGUNDA PARTE - APLICAÇÃO AUTOMÁTICA DOS CERTIFICADOS DAS MVI

Valores lidos na mira A =digitado pelo anotador

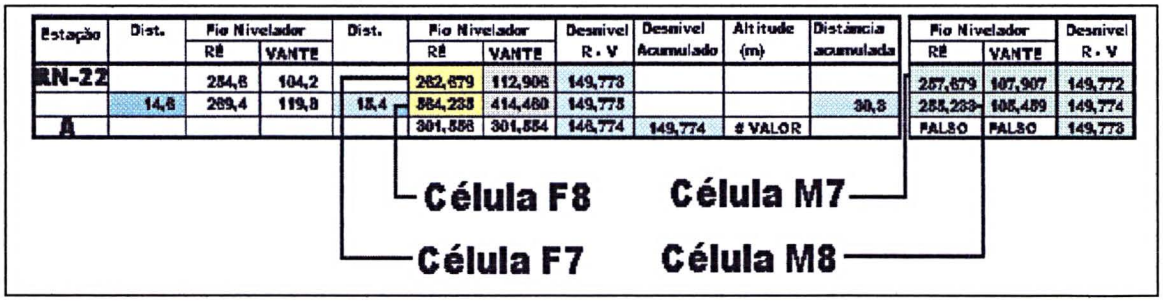
Valores lidos na mira B = digitado pelo anotador

Valores calculados com o certificado das MVI

Valores calculados

A segunda parte está programada para aplicar o certificado das MVI. São descritos, na seqüência os passos programados para a obtenção dos desníveis corrigidos das irregularidades de gravação e desgastes dos traços das miras. Os resultados obtidos com a aplicação dos certificados estão analisados no capítulo quatro.

FIGURA 31 - POSICIONAMENTO DAS CÉLULAS NA PLANILHA



A partir do momento em que o nivelador digita o valor da leitura do fio nivelador (ré ou vante) na primeira parte da caderneta, por exemplo célula F7 (Figura 31), uma célula correspondente na segunda parte da caderneta, no caso M7, contém uma fórmula programada (Figura 32) para, através do certificado das MVI, armazenado na Planilha 1 (Figura 27), corrigir aquela leitura.

A fórmula divide o valor da leitura em duas partes: a primeira corresponde à leitura do traço da mira e a segunda à leitura do micrômetro. A fórmula utiliza a leitura do traço para realizar uma busca dentro de um intervalo na planilha 1. Encontrando o valor, ele é substituído pela correção correspondente a este traço. Soma-se então esta correção à leitura do micrômetro.

Este procedimento é repetido automaticamente cada vez que o anotador digita valores para os fios niveladores. O Fluxograma da Figura 33, esclarece melhor a seqüência executada pela caderneta de campo automatizada.

FIGURA 32 - FÓRMULA DAS CÉLULAS PARA APLICAÇÃO DO CERTIFICADO DAS MVI

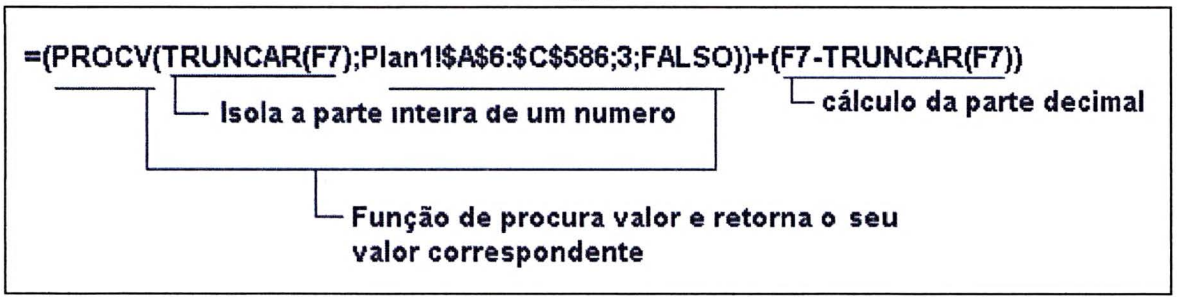
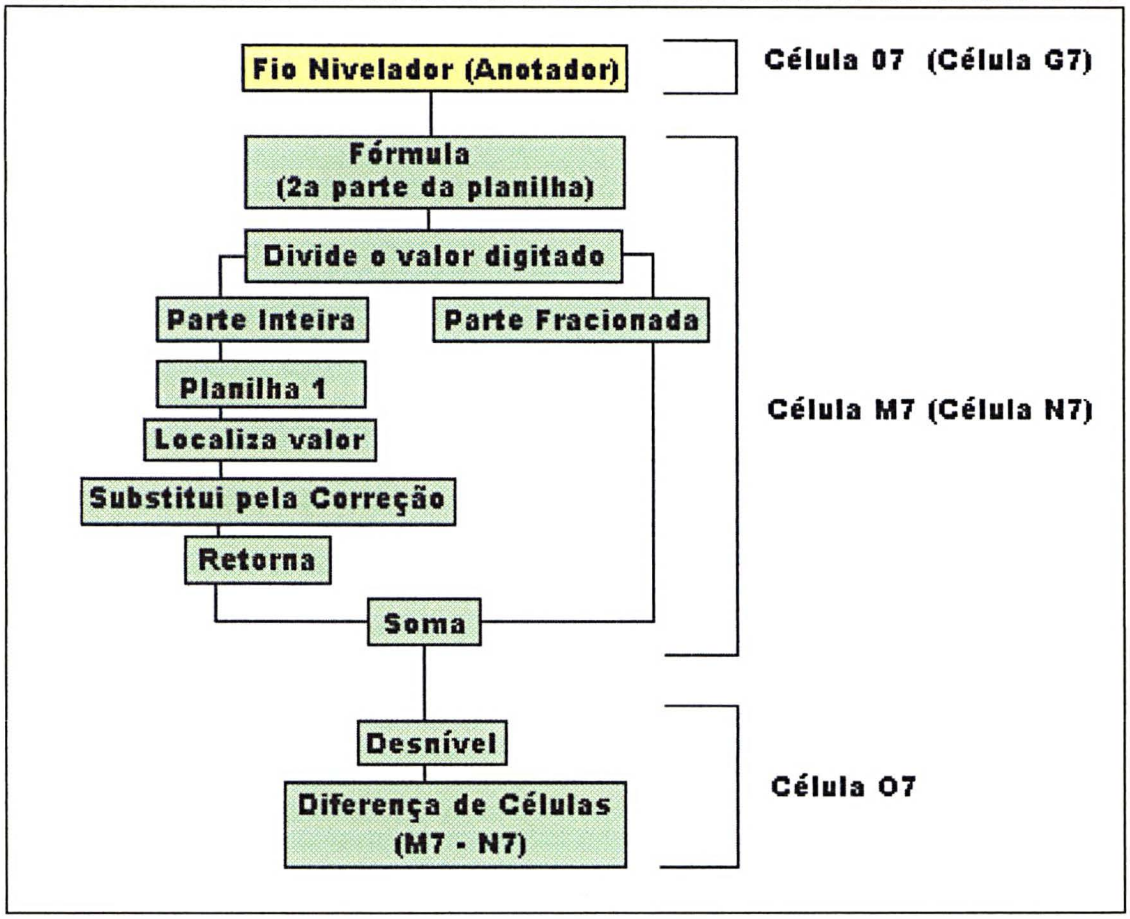


FIGURA 33 - FLUXOGRAMA DA CADERNETA DE CAMPO AUTOMATIZADA



3.2.5 Ajustamento

O método utilizado no ajustamento da rede foi o método dos correlatos (ou das equações de condição). Neste método as observações são os desníveis medidos. Este é o método mais evidente de ponderação pois os erros tendem a crescer com o aumento da extensão das linhas niveladas. Outros tipos de ponderações, tal como envolvendo fontes específicas de erros são inviáveis pois exige o envolvimento de outras variáveis no processo.

Antes de se efetuar o ajustamento da rede, é necessário aplicar a correção do não paralelismo das superfícies equipotenciais. No entanto devido à rede ter uma pequena diferença em latitude (32,9") LAGO & LASPERG (1997).demonstram não ser necessária esta correção.

Porém ela não pode ser esquecida quando se deseja obter altitudes de RRNN através do nivelamento de alta precisão em regiões que envolvam áreas maiores.

As equações de condição e as matrizes (GEMAEL, 1994) estão relacionadas a seguir, onde:

L_b = Vetor de dimensões (nx1) dos valores observados = desníveis

P^{-1} = Inversa da matriz dos pesos = distâncias

W = vetor de dimensões (rx1) "erro de fechamento"

B = matriz dimensão (rxn) das derivadas parciais das equações de condição em relação aos valores observados ajustados

L_a = valores ajustados = desníveis ajustados (nx1)

V = vetor dos resíduos (nx1)

r = número de equações de condição

n = número de valores observados

u = número de incógnitas (altitudes das estações)

r = n - u (número de graus de liberdade - GL)

Modelo Matemático Linearizado

$$B \times V + W = 0 \tag{3.1}$$

$$L_a = L_b + V \tag{3.2}$$

Equações Normais

$$M \times K + W = 0 \tag{3.3}$$

$$K = -M^{-1} \times W \tag{3.4}$$

$$M = B \times P^{-1} \times B^T \tag{3.5}$$

Vetor dos Valores Observados Ajustados

$$L_a = L_b + V \tag{3.6}$$

Vetor dos Resíduos

$$V = P^{-1} \times B^T \times K \tag{3.7}$$

Variância de unidade de peso "a posteriori"

$$\sigma_0^2 = \frac{V^T \times P \times V}{r} \tag{3.8}$$

No primeiro nivelamento aplicou-se o ajustamento da rede, levando-se em consideração que os marcos experimentais teriam a mesma precisão das RRNN, o que se sabia não ser verídico.

Após o segundo nivelamento procedeu-se a um novo ajustamento, com dados das duas campanhas. Utilizou-se apenas 16 das RRNN (novas e antigas) com vinte e cinco desníveis para obter-se a altitude de 15 RRNN, tendo em vista que a RN 01 pertence ao SGB (com altitude conhecida). Foi possível obter um sistema de dez equações de condição que conduziu aos resultados para as miras A/B apresentados na Tabela 03:

TABELA 03 - DESNÍVEIS AJUSTADOS (SEM CERTIFICADO) OBTIDOS COM AS MIRAS A/B

LINHAS	1995 (cm)	1996/97 (cm)	DIFERENÇA(cm)
01-02	-33,976	-33,747	0,229
01-14	333,584	332,988	0,696
01-15	-614,861	-614,720	0,141
01-19	-265,110	-264,893	0,217
01-20	-209,818	-210,039	-0,221
02-03	-435,014	-434,832	0,182
02-10	-548,342	-548,103	0,239
02-21	-683,997	-683,862	0,135
03-06	-592,335	-592,290	0,045
03-24	-1447,839	-1448,381	-0,542
06-09	-208,622	-208,564	0,075
09-10	687,628	687,565	0,062
10-11	1581,305	1580,836	0,468
10-12	1268,755	1268,408	0,347
10-15	-32,542	-32,870	-0,328
11-12	-312,551	-312,429	0,122
12-14	-352,852	-353,569	-0,717
14-15	-948,445	-947,708	0,737
15-19	349,751	349,827	-0,076
20-21	-508,155	-507,570	0,586
20-22	509,885	510,563	-0,679
21-22	-1,729	-2,994	-1,264
21-23	619,661	619,393	0,268
21-24	-1198,856	-1199,351	-0,495
22-23	-621,389	-622,386	-0,997

Fonte: Goncho e Miranda (1996)

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DOS ERROS DE FECHAMENTO DAS SEÇÕES

Na Tabela 04 e nos gráficos 01 e 02 verifica-se que os valores dos erros de fechamento das seções, antes da aplicação dos certificados das MVI, para o primeiro nivelamento realizado em 1995, ficaram dentro do valor do erro adotado na nova metodologia, de 1 mm $\sqrt{K}$ (K média das distâncias niveladas e contra niveladas em km).

TABELA 04 - VERIFICAÇÃO DOS ERROS PERMITIDOS E COMETIDOS PARA OS DOIS PARES DE MIRAS (SEM O CERTIFICADO)

	DIST.	MIRA A/B		
LINHA	MÉDIA (m)	ERRO PERMIT.(mm)	ERRO COMET.(mm)	mm/ K**1/2
1/2	247,9	0,50	0,37	0,74
1/14	403,8	0,64	-0,44	0,69
1/15	318,1	0,56	-0,02	0,04
1/19	274,8	0,52	-0,16	0,31
1/20	426,4	0,65	0,05	0,08
2/3	132,3	0,36	-0,28	0,77
2/10	464,8	0,68	-0,32	0,47
2/21	339,7	0,58	-0,57	0,98
3/6	312,2	0,56	-0,20	0,36
3/24	382,4	0,62	-0,28	0,45
6/9	326,5	0,57	-0,39	0,68
9/10	244,7	0,49	0,10	0,20
10/11	427,9	0,65	-0,60	0,92
10/12	317,5	0,56	-0,07	0,12
10/15	355,0	0,60	-0,59	0,99
11/12	187,1	0,43	-0,19	0,44
12/14	416,2	0,65	0,32	0,50
14/15	194,8	0,44	0,03	0,07
15/19	332,5	0,58	0,15	0,26
20/21	150,8	0,39	-0,06	0,15
20/22	241,3	0,49	-0,06	0,12
21/22	175,3	0,42	0,32	0,76
21/23	188,0	0,43	0,04	0,09
21/24	343,1	0,59	-0,13	0,22
22/23	154,2	0,39	-0,04	0,10
		média		0,421
		desvio da média		0,268

	DIST.	MIRA 3/4		
LINHA	MÉDIA (m)	ERRO PERMIT.(mm)	ERRO COMET.(mm)	mm/ K**1/2
1/2	248,2	0,50	0,03	0,06
1/14	412,4	0,64	0,01	0,02
1/15	271,8	0,52	-0,04	0,08
1/19	249,5	0,50	0,03	0,06
1/20	416,2	0,65	0,24	0,37
2/3	124,4	0,35	-0,10	0,28
2/10	473,1	0,69	-0,30	0,44
2/21	333,9	0,58	0,08	0,14
3/6	289,6	0,54	-0,41	0,76
3/24	393,2	0,63	0,45	0,72
6/9	320,7	0,57	0,48	0,85
9/10	219,6	0,47	0,04	0,09
10/11	419,2	0,65	-0,04	0,06
10/12	307,1	0,55	-0,47	0,85
10/15	328,1	0,57	-0,30	0,52
11/12	188,3	0,43	0,10	0,23
12/14	410,4	0,64	0,30	0,47
14/15	188,1	0,43	0,33	0,76
15/19	287,5	0,54	0,05	0,09
20/21	146,5	0,38	-0,03	0,08
20/22	179,3	0,42	0,00	0,00
21/22	175,6	0,42	-0,15	0,36
21/23	168,1	0,41	-0,24	0,59
21/24	344,4	0,59	-0,22	0,37
22/23	157,0	0,40	-0,38	0,96
		média		0,368
		desvio da média		0,259

GRÁFICO 01 - COMPARAÇÃO ENTRE ERROS PARA MIRAS A/B
(SEM CERTIFICADO)

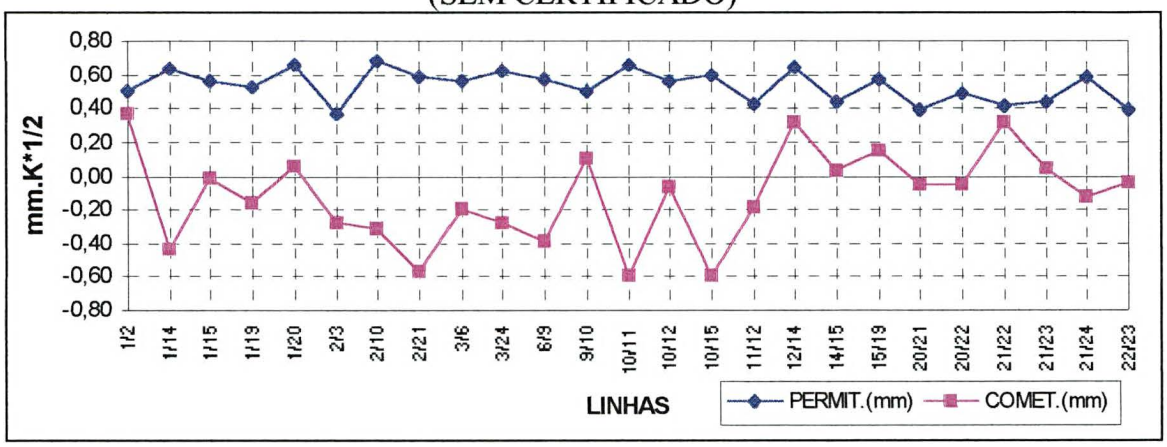
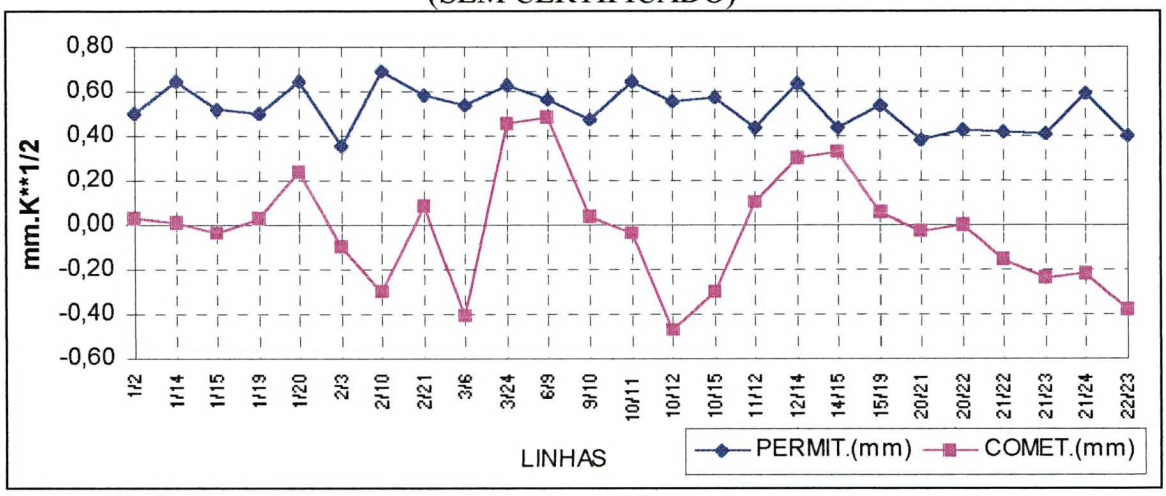


GRÁFICO 02 - COMPARAÇÃO ENTRE ERROS PARA MIRAS 3/4
(SEM CERTIFICADO)



Verifica-se também que, para o mesmo nivelamento, após a aplicação dos certificados das MVI os erros de fechamento das seções permanecem dentro de 1 mm $\sqrt{K}$. (Tabela 05 e Gráficos 03 e 04).

TABELA 05 - VERIFICAÇÃO DOS ERROS PERMITIDOS E COMETIDOS PARA OS DOIS PARES DE MIRAS (COM O CERTIFICADO)

	MIRA A/B		
LINHA	ERRO PERMIT.(mm)	ERRO COMET.(mm)	mm/ K**1/2
1/2	0,50	0,38	0,76
1/14	0,64	-0,43	0,68
1/15	0,56	-0,07	0,12
1/19	0,52	-0,18	0,34
1/20	0,65	0,02	0,03
2/3	0,36	-0,29	0,80
2/10	0,68	-0,27	0,40
2/21	0,58	-0,57	0,98
3/6	0,56	-0,22	0,39
3/24	0,62	-0,30	0,49
6/9	0,57	-0,41	0,72
9/10	0,49	0,10	0,20
10/11	0,65	-0,64	0,98
10/12	0,56	-0,04	0,07
10/15	0,60	-0,52	0,87
11/12	0,43	-0,17	0,39
12/14	0,65	0,30	0,47
14/15	0,44	0,07	0,16
15/19	0,58	0,17	0,29
20/21	0,39	-0,07	0,18
20/22	0,49	-0,06	0,12
21/22	0,42	0,33	0,79
21/23	0,43	0,05	0,12
21/24	0,59	-0,12	0,20
22/23	0,39	-0,03	0,08
	média		0,426
	desvio da média		0,248

	MIRA 3/4		
LINHA	ERRO PERMIT.(mm)	ERRO COMET.(mm)	mm/ K**1/2
1/2	0,50	0,01	0,02
1/14	0,64	-0,06	0,09
1/15	0,52	-0,02	0,04
1/19	0,50	0,04	0,08
1/20	0,65	0,23	0,36
2/3	0,35	-0,11	0,31
2/10	0,69	-0,31	0,45
2/21	0,58	0,06	0,10
3/6	0,54	-0,41	0,76
3/24	0,63	0,38	0,61
6/9	0,57	0,43	0,62
9/10	0,47	0,10	0,21
10/11	0,65	0,00	0,00
10/12	0,55	-0,47	0,85
10/15	0,57	-0,28	0,49
11/12	0,43	0,09	0,21
12/14	0,64	0,38	0,59
14/15	0,43	0,31	0,71
15/19	0,54	0,03	0,06
20/21	0,38	-0,04	0,10
20/22	0,42	0,00	0,00
21/22	0,42	-0,12	0,29
21/23	0,41	-0,26	0,63
21/24	0,59	-0,24	0,41
22/23	0,40	-0,37	0,93
	média		0,377
	desvio da média		0,253

GRÁFICO 03 - COMPARAÇÃO ENTRE ERROS PARA MIRAS A/B (COM CERTIFICADO)

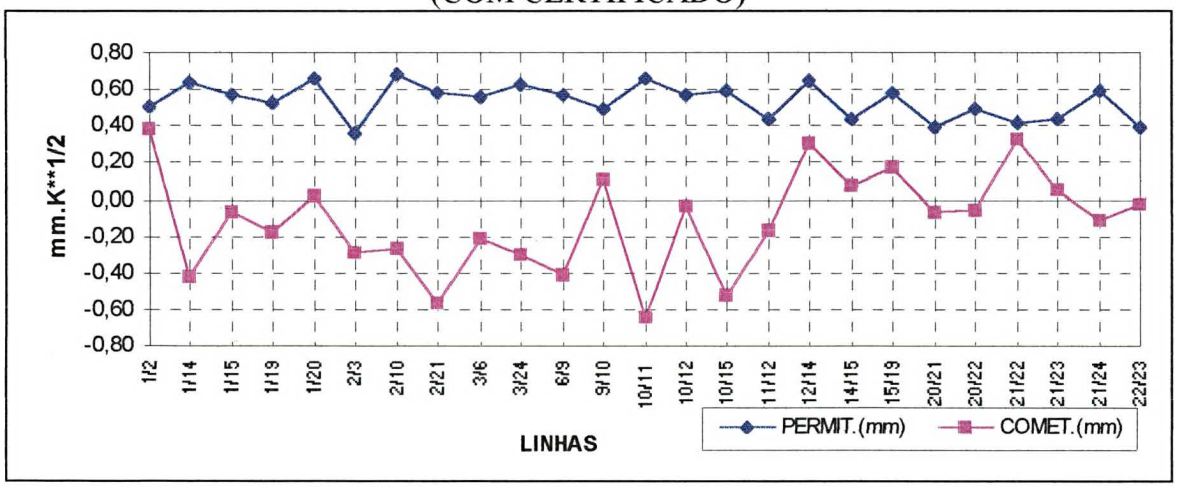
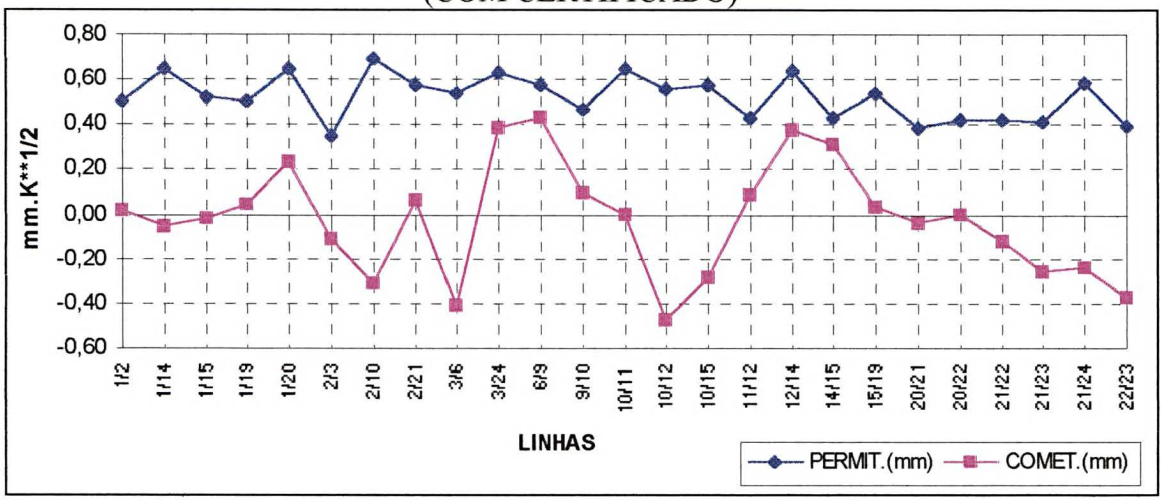


GRÁFICO 04 - COMPARAÇÃO ENTRE ERROS PARA MIRAS 3/4
(COM CERTIFICADO)



Verifica-se que em 63 % do nivelamento (miras A/B e 3 / 4) o erro de fechamento das seções ficou abaixo de 0,5 mm $\sqrt{K}$, conforme Gráficos 05 e 06.

GRÁFICO 05 - ERRO COMETIDO EM RELAÇÃO AO ERRO PERMITIDO
(SEM CERTIFICADO)

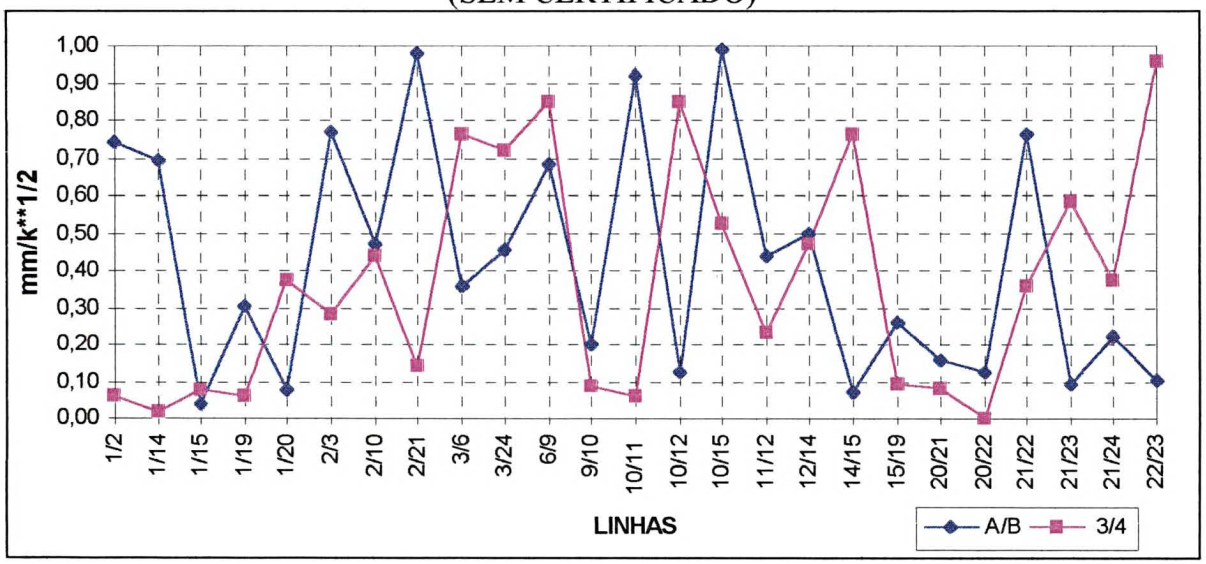
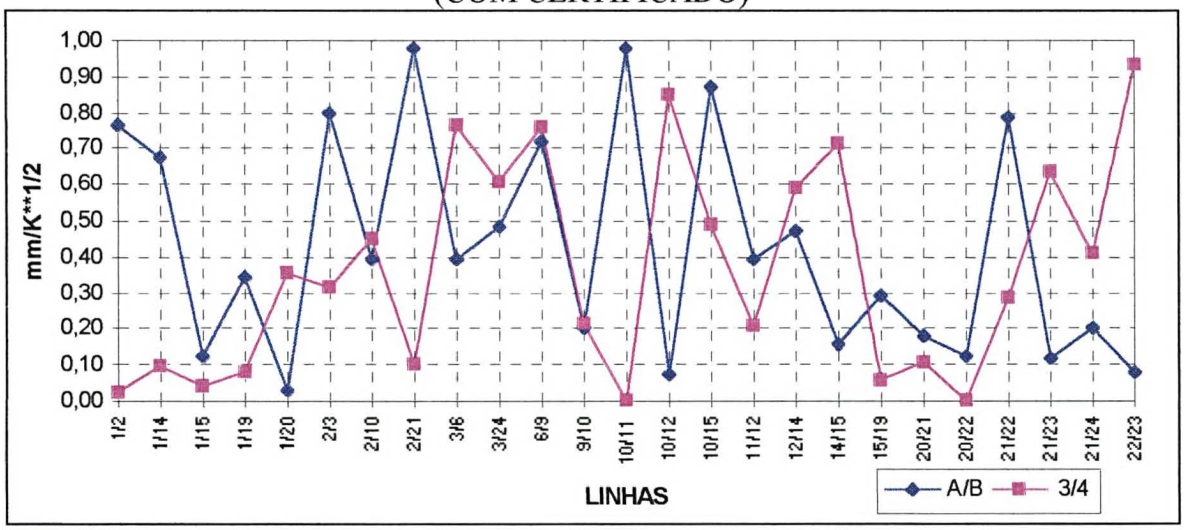


GRÁFICO 06 - ERRO COMETIDO EM RELAÇÃO AO ERRO PERMITIDO (COM CERTIFICADO)



4.2 ESTABILIDADE DOS MARCOS

Após o ajustamento dos desníveis, verificou-se ainda que a instabilidade dos marcos é um aspecto crítico, onde o nivelamento e contra nivelamento não evidencia este fato. Porém, no fechamento dos circuitos compostos de diferentes linhas, realizadas em datas diferentes (Tabela 02) e com alguns marcos em comum, apareceram claramente tais efeitos, conforme Tabela 06

Outro problema é o posicionamento das RRNN, como no caso da RN-09, RN-22 e RN-14, que estão situadas em regiões de diferentes condições (Figura 22). AS RN-09 e RN 22 estão localizadas em áreas em que o nível d'água é atingido, através de sondagem, em torno de 0,20 metros, ou seja, pouco abaixo do nível da superficie (SORIA MEDINA, 1998), e que em grandes períodos de precipitação sofre o acúmulo de água, interferindo nas medições

realizadas junto a este. A RN-14 por sua vez, situa-se próximo a uma avenida que possui trânsito intenso.

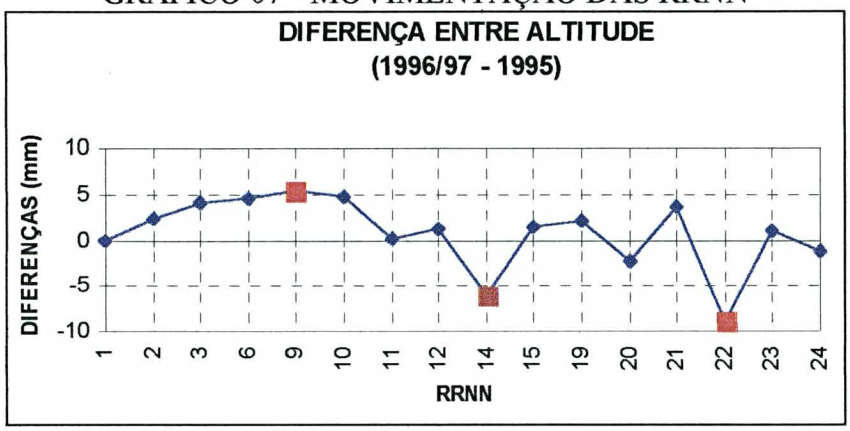
TABELA 06 -ERRO DE FECHAMENTO POR CIRCUITOS DAS MIRAS A/B (cm)

CIRCUITO	1995	1996/97
I	-0,056	-0,022
II	0,016	-0,008
III	0,022	-0,822
IV	0,038	0,080
V	-0,146	-0,104
VI	-0,149	0,064
VII	-0,302	-0,078
VIII	0,011	-0,062
IX	0,855	0,022
X	0,051	-0,108

Fonte: Medeiros et al., (1996)

A Tabela 06 e o gráfico 07 ilustram a diferença entre as altitudes das RRNN da rede científica da UFPR, obtidas em épocas diferentes com o mesmo instrumento.

GRÁFICO 07 - MOVIMENTAÇÃO DAS RRNN



Fonte: Medeiros, et al., 1998

TABELA 07 - ALTITUDES DA REDE CIENTÍFICA COM O PAR DE MIRAS A/B

RRNN	1995(m)	1996(m)	DIF. (mm)
1	914,3259	914,3259	0,00
2	913,9861	913,9884	2,29
3	909,6360	909,6401	4,11
6	903,7126	903,7172	4,57
9	901,6264	901,6317	5,32
10	908,5027	908,5074	4,69
11	924,3158	924,3158	0,01
12	921,1902	921,1915	1,23
14	917,6617	917,6558	-5,94
15	908,1773	908,1787	1,43
19	911,6748	911,6770	2,17
20	912,2277	912,2255	-2,21
21	907,1462	907,1498	3,64
22	907,1289	907,1199	-9,00
23	913,3428	913,3437	0,98
24	895,1576	895,1563	-1,30

Fonte: Medeiros, et al. 1997

4.3 ANÁLISE DOS EFEITOS AMBIENTAIS

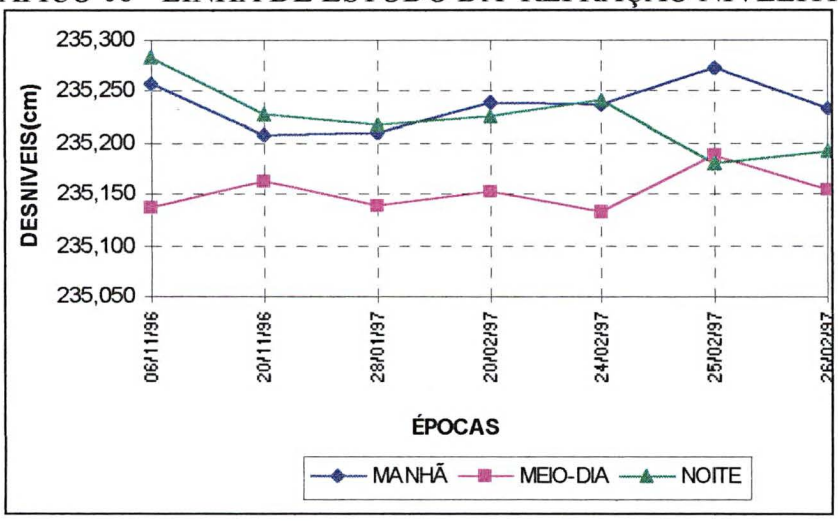
A linha RN-09/RN-25 (Figura 24) serviu de base para a realização de estudo da refração nivelítica. O desnível determinado nesta linha foi de 235,155 cm. Esta determinação foi obtida utilizando-se a mesma metodologia adotada no item 3.2.3.

Os nivelamentos ocorreram em três períodos distintos. Pela manhã até duas horas após o sol nascer; na metade do dia (lembrando-se do período de horário de verão que é adotado na região sul) e ao entardecer tendo seu início a partir de duas horas antes do sol se pôr. Através dos valores obtidos nesta linha pode-se constatar que a refração nivelítica é um fator que influencia na obtenção do desníveis. Ficou comprovado que este efeito é menor ao meio-dia e maior ao amanhecer e entardecer em visadas de 80 metros, conforme mostram o Gráfico 08 e a Tabela 08.

TABELA 08 - DESNÍVEIS NA LINHA DE ESTUDO DA REFRAÇÃO NIVELÍTICA

	DESNÍVEIS (cm)		
DATA	MANHÃ	MEIO-DIA	NOITE
06/11/96	235,256	235,136	235,283
20/11/96	235,207	235,162	235,228
28/01/97	235,210	235,139	235,217
20/02/97	235,238	235,152	235,225
24/02/97	235,237	235,133	235,241
25/02/97	235,273	235,188	235,18
26/02/97	235,233	235,154	235,191

GRÁFICO 08 - LINHA DE ESTUDO DA REFRAÇÃO NIVELÍTICA



4.4 ANÁLISE DA APLICAÇÃO DOS CERTIFICADOS DAS MIRAS VERTICAIS DE INVAR

Após a aplicação dos certificados das MVI, no primeiro nivelamento realizado em 1995, pode-se comparar os desníveis obtidos nas linhas da rede científica da UFPR. A Tabela 09 e o gráfico 09 demonstram variações na ordem do centésimo do milímetro, estando dentro da capacidade instrumental do nível N3.

Com o objetivo de verificar a capacidade do nível NA 3003, realizou-se uma campanha repetindo-se os mesmos circuitos utilizados com o N3. Apesar deste nível armazenar os valores dos desníveis na casa do décimo do milímetro, os mesmos são calculados utilizando-se de leituras obtidas no centésimo do milímetro. A Tabela 10 e o Gráfico 10

GRÁFICO 09 - COMPARAÇÃO ENTRE AS DIFERENÇAS DE DESNÍVEIS

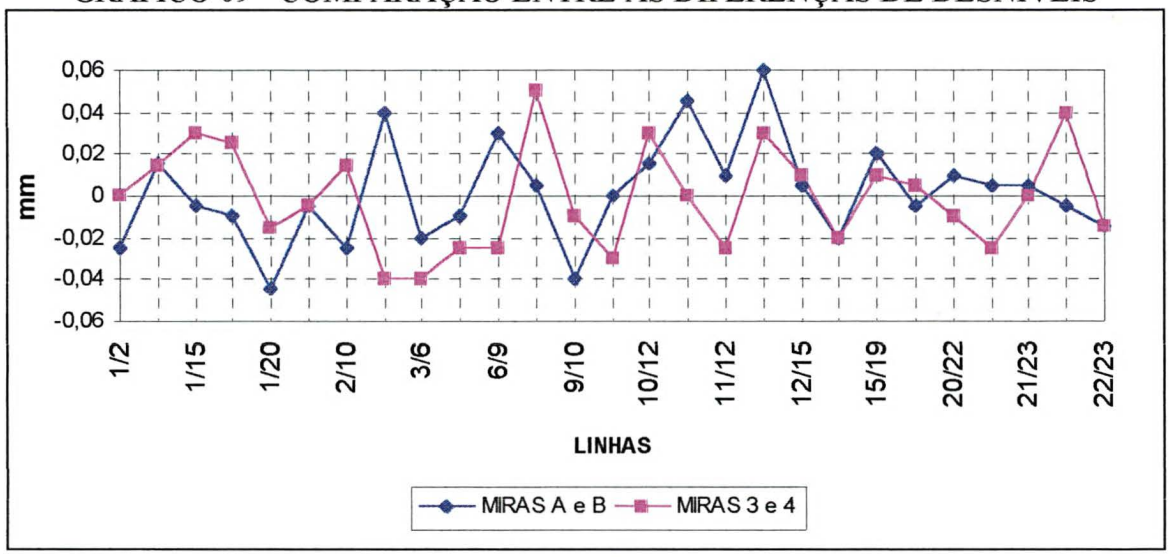


TABELA 09 - RESULTADOS DOS DESNÍVEIS COM A APLICAÇÃO DOS CERTIFICADOS DAS MVI

	DESNÍVEIS MIRAS A / B (cm)			DESNÍVEIS MIRAS 3 / 4 (cm)			DIFERENÇAS ENTRE MIRAS A/B e 3/4	
	S/ CERT.	C/ CERT.	DIF.(mm)	S/ CERT.	C/ CERT.	DIF.(mm)	S/ CERT.	C/ CERT.
1/2	-33,962	-33,959	-0,02	-33,871	-33,871	0,00	-0,091	-0,089
1/14	333,709	333,708	0,02	333,523	333,521	0,01	0,186	0,186
1/15	-614,863	-614,863	-0,01	-614,832	-614,835	0,03	-0,031	-0,027
1/19	-265,135	-265,134	-0,01	-264,660	-264,662	0,03	-0,476	-0,472
1/20	-209,918	-209,913	-0,04	-210,026	-210,025	-0,02	0,109	0,111
2/3	-435,021	-435,021	-0,01	-435,005	-435,005	0,00	-0,016	-0,016
2/10	-548,408	-548,406	-0,02	-547,998	-548,000	0,01	-0,410	-0,406
2/21	-683,934	-683,938	0,04	-684,174	-684,170	-0,04	0,240	0,233
3/6	-592,350	-592,348	-0,02	-592,473	-592,469	-0,04	0,122	0,120
3/24	-1447,829	-1447,828	-0,01	-1448,052	-1448,049	-0,03	0,222	0,221
6/9	-208,637	-208,640	0,03	-209,412	-209,410	-0,02	0,775	0,770
9/10	687,618	687,622	-0,04	687,615	687,616	-0,01	0,003	0,006
10/11	1581,283	1581,283	0,00	1581,605	1581,608	-0,03	-0,322	-0,325
10/12	1268,689	1268,687	0,02	1268,818	1268,815	0,03	-0,129	-0,128
10/15	-32,538	-32,542	0,05	-32,084	-32,084	0,00	-0,453	-0,458
11/12	-312,556	-312,557	0,01	-312,542	-312,540	-0,03	-0,013	-0,017
12/14	-352,946	-352,952	0,06	-353,677	-353,680	0,03	0,731	0,728
14/15	-948,426	-948,424	-0,02	-947,421	-947,419	-0,02	-1,005	-1,005
15/19	349,784	349,782	0,02	349,670	349,669	0,01	0,114	0,113
20/21	-508,279	-508,279	0,00	-507,493	-507,493	0,00	-0,786	-0,786
20/22	-509,777	-509,778	0,01	-509,853	-509,852	-0,01	0,076	0,074
21/22	-1,509	-1,510	0,01	-2,351	-2,348	-0,03	0,842	0,839
21/23	619,317	619,317	0,01	619,655	619,655	0,00	-0,338	-0,339
21/24	-1198,864	-1198,863	-0,01	-1198,947	-1198,951	0,04	0,084	0,088
22/23	621,681	621,683	-0,01	621,621	621,623	-0,01	0,060	0,060
		média	0,001		média	-0,003		
		desvio da média	0,020		desvio da média	0,019		

GRÁFICO 10 - COMPARAÇÃO DA VARIAÇÃO DOS DESNÍVEIS (N3 E NA 3003) COM O ERRO PERMITIDO

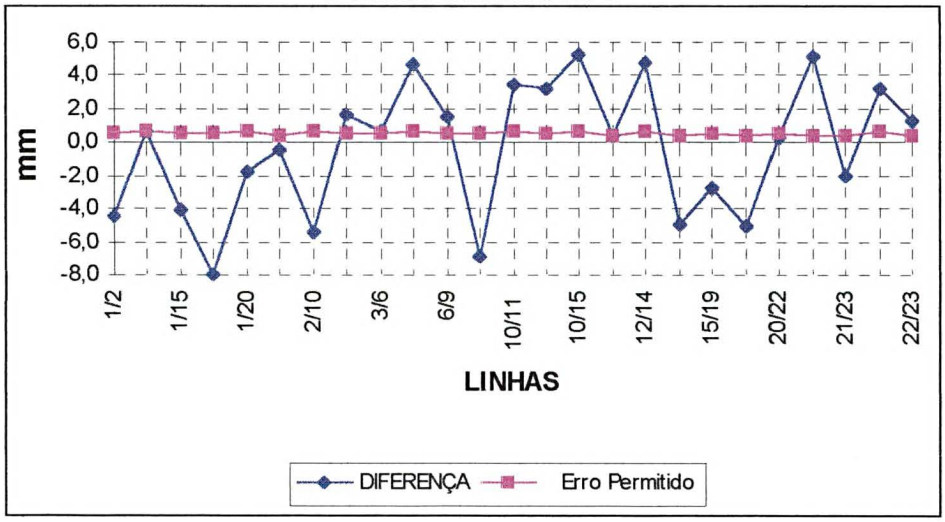


TABELA 10 - VARIAÇÃO DOS DESNÍVEIS COM N3 E NA 3003

	DESNÍVEIS (cm)				
	MIRAS A / B		NÍVEL	(mm)	
	S/ CERT.	C/ CERT.	NA 3003	DIFERENÇA	E. P.
1/2	-33,962	-33,959	-33,52	-4,4	0,50
1/14	333,709	333,708	333,64	0,7	0,64
1/15	-614,863	-614,863	-614,45	-4,1	0,56
1/19	-265,135	-265,134	-264,34	-8,0	0,52
1/20	-209,918	-209,913	-209,74	-1,8	0,65
2/3	-435,021	-435,021	-434,98	-0,4	0,36
2/10	-548,408	-548,406	-547,86	-5,5	0,68
2/21	-683,934	-683,938	-684,09	1,6	0,58
3/6	-592,350	-592,348	-592,41	0,6	0,56
3/24	-1447,829	-1447,828	-1448,29	4,6	0,62
6/9	-208,637	-208,640	-208,78	1,4	0,57
6/10	479,018	479,017	479,52	-5,0	0,67
9/10	687,618	687,622	688,31	-6,9	0,49
10/11	1581,283	1581,283	1580,94	3,4	0,65
10/12	1268,689	1268,687	1268,37	3,2	0,56
10/15	-32,538	-32,542	-33,06	5,2	0,60
11/12	-312,556	-312,557	-312,6	0,4	0,43
12/14	-352,946	-352,952	-353,42	4,7	0,65
12/15	-1301,144	-1301,144	-1301,37	2,3	0,63
14/15	-948,426	-948,424	-947,93	-5,0	0,44
15/19	349,784	349,782	350,06	-2,8	0,58
20/21	-508,279	-508,279	-507,77	-5,1	0,39
20/22	-509,777	-509,778	-509,8	0,2	0,49
21/22	-1,509	-1,510	-2,02	5,1	0,42
21/23	619,317	619,317	619,52	-2,0	0,43
21/24	-1198,864	-1198,863	-1199,18	3,2	0,59
22/23	621,681	621,683	621,55	1,3	0,39

E. P. - Erro Permitido na linha, calçulado em campo

5 METODOLOGIA PROPOSTA PARA O NIVELAMENTO GEOMÉTRICO CONVENCIONAL

Tendo em vista os resultados obtidos com este trabalho propõe-se uma nova metodologia para o nivelamento geométrico de alta precisão, visando alcançar as precisões preconizadas pela literatura internacional (ROBINSON et al., 1995), ou seja, fechamento melhor que 1 mm $\sqrt{K}$ para redes geodésicas e a atender a necessidade das instituições que trabalham nesta área.

Lembra-se aqui que não existe a necessidade de troca de equipamentos para se alcançar uma melhor precisão, sendo suficiente apenas a adoção de procedimentos adequados.

5.1 ANTES DAS OPERAÇÕES DE CAMPO

O nível e as miras devem ser da mesma marca, tendo em vista a relação entre o retículo do nível e o tamanho dos traços gravados na fita de ínvar.

Como preconiza a DSG (BRASIL, 1975), é necessário verificar e retificar (se necessário) o nível todos os dias antes de iniciar as operações de campo. Tal verificação consiste nos procedimentos descritos no item 2.2.1.2, sendo possível utilizar-se da metodologia de campo ou laboratório.

No manual de nivelamento geométrico (BRASIL, 1960) da DSG é abordada a necessidade da aferição das MVI no que diz respeito ao comprimento real da fita de ínvar e do nível esférico utilizado para obter-se a verticalização da mira (GEODETIC, 1988), (UNITED STATES, 1984). Tais aspectos foram amplamente discutidos no item 2.2.1.3, sendo que a aferição dos traços da fita só é passível de ser realizada em laboratório.

5.2 DURANTE AS OPERAÇÕES DE CAMPO

Deve-se adotar os procedimentos descritos no item 3.2.3, que demonstraram melhoria no erro de fechamento das seções (nivelamento e contra nivelamento), atingindo-se precisões inferiores a 1 mm $\sqrt{K}$, sendo que em mais de 50 % da rede conseguiu-se precisão de 0,5 mm $\sqrt{K}$.

5.3 AUTOMAÇÃO DAS CADERNETAS E APLICAÇÃO DOS CERTIFICADOS DAS MVI

A DSG recomenda (BRASIL, 1975) que as miras devem ser aferidas ao início de cada campanha e consequentemente deve-se aplicar os resultados obtidos nestas aferições ao nivelamento efetuado. Como demonstrado no item 3.2.5, este processo de aplicação é simples, porém trabalhoso e repetitivo. A caderneta de campo automatizada soluciona este problema.

Num primeiro momento ela facilita os trabalhos de campo, pois orienta a equipe (nivelador/anotador) de possíveis erros (ex.: verificação da constante da mira e das distâncias nas estações). E em escritório, os dados já estarão corrigidos dos certificados de aferição, logo prontos para o processos seguintes (reduções e ajustamento). Também facilita o armazenamento dos dados em meio digital.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONCLUSÕES

A estabilidade das RRNN ainda surge como um dos problemas das redes de alta precisão. Como ficou evidenciado através de estudos realizados neste trabalho, são necessários maiores cuidados na escolha e implantação das RRNN, assim como melhorias introduzidas na construção destas, as quais dizem respeito ao aumento da área de apoio, localização e a preocupação com a sua vida útil.

Constata-se que enquanto a reverberação gera um erro aleatório a refração e flutuação geram erros sistemáticos. Os procedimentos adotados na atualidade não levam em conta estes efeitos e, procurando eliminar a reverberação, executa-se levantamentos em horários em que os outros dois efeitos são maiores. Como solução deve-se diminuir as visadas e proceder-se ao nivelamento em horários onde estes efeitos sejam minimizados.

Neste trabalho não foram realizados estudos sobre a flutuação, pois o tempo gasto nas leituras foram sempre menores do que o tempo que era necessário para este efeito surgir.

Os procedimentos atualmente utilizados no Brasil não condizem com a atual realidade internacional, que trabalha com 1 mm $\sqrt{K}$ para redes verticais de alta precisão. Nas visadas de 100 metros introduz-se novamente erros de refração e flutuação e ainda tem-se a dificuldade na obtenção das leituras. Ao adotar-se visadas menores, sendo as utilizadas neste trabalho de 35 metros, minimiza-se estes efeitos; com a redução na diferença entre visadas de ré e vante,

para uma mesma estação do nível, procura-se minimizar ainda os efeitos de curvatura e refração atmosférica .

A aplicação do certificado de aferição das MVI não introduziu melhorias significativas na rede científica. Mesmo que para leituras isoladas existam variações na ordem do décimo do milímetro, em função de distorções localizadas, as miras eram ainda adequadas, para o tipo de levantamento efetuado com a metodologia. Neste particular a probabilidade de se utilizar parte defeituosa da mira é reduzida, devido às extensões das linhas observadas, que também não possuem desníveis acentuados.

A quantidade de dados que se obtém nos nivelamentos é grande, e a tentativa de aplicação dos certificados de aferição das MVI é trabalhosa com os métodos convencionais. A adoção da caderneta automatizada supre esta lacuna e facilita os cálculos e a aplicação dos certificados das MVI, além de possuir uma série de recursos de verificação dos levantamentos ainda durante as observações de campo.

No estudo da refração nivelítica, de acordo com o gráfico 08 e o valor obtido em campo com visadas de 35 m, fica demonstrado que se deve evitar nivelamentos ao início e fim do dia, sendo preferível o horário em torno do meio-dia.

O par de miras 3-4, considerado o pior, por apresentar um erro progressivo com o aumento da graduação, na verdade, dentro da região empregada no nivelamento apresenta uma variação máxima de 0,02 mm, enquanto o par A/B, com o melhor resultado na calibração, no intervalo de utilização apresenta variações de até 0,05 mm (que também é totalmente aceitável).

6.2 RECOMENDAÇÕES

Utilizar a metodologia para o nivelamento geométrico de alta precisão, proposta neste trabalho, em todos os seus aspectos, ou seja: realizar maiores estudos sobre a melhoria na estrutura das RRNN; verificação, retificação e aferição/calibração de todo o equipamento utilizado e em todos os seus aspectos; mudança de horário dos nivelamentos; diminuição das linhas de visadas; diminuição do valor do erro de fechamento admissível das seções; utilização da caderneta automatizada com aplicação dos certificados das MVI.

Atualizar a norma R/PR 22/83, no que diz respeito aos aspectos estudados neste trabalho.

Realizar novos estudos da aplicação dos certificados das MVI em linhas maiores.

Realizar novos estudos comparativos entre o NA 3003 e o N3, em linhas maiores, tendo em vista a agilidade atingida com o novo instrumental.

Realizar uma análise minuciosa a respeito de todas especificações da R/PR 22/83, e ver de que modo os diversos itens se compõem, e que resultado se espera dessa composição.

Realizar estudos para verificação da amplitude do micrômetro da placa plano-paralela do nível.

Realizar novos estudos sobre a refração nivelítica com visadas inferiores a 35m.

ANEXOS

ANEXO I ESPECIFICAÇÕES E NORMAS GERAIS PARA LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS - R/PR 22/83

RESOLUÇÃO – PR nº 22, de 21-07-83.

Art. 1º – Ficam aprovadas, na forma do ANEXO, as Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em território brasileiro.

Art. 2º – Ficam atribuídos à Diretoria de Geodésia e Cartografia os encargos pertinentes à expedição de instruções para o cumprimento desta Resolução e à adoção das providências para publicação e disseminação das Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos.

Art. 3º – Esta Resolução entra em vigor nesta data, revogadas as disposições em contrário.

ANEXO À RESOLUÇÃO – PR nº 22, de 21-07-83.

APRESENTAÇÃO

As especificações e Normas Gerais destinam-se a regularizar a execução dos Levantamentos Geodésicos em território brasileiro, estabelecendo tolerâncias e critérios segundo os quais deverão ser conduzidos de maneira a serem aceitos como contribuição Sistema Geodésico Brasileiro.

Tais Especificações e Normas Gerais serão colocadas à disposição do público por intermédio do IBGE, atendendo assim, ao disposto no Capítulo VIII do Decreto-lei nº 243, de 28 de fevereiro de 1967, que determina a competência da Instituição quanto aos levantamentos geodésicos.

As tolerâncias e recomendações delinearam-se a partir da revisão de "Ordens de Serviços Técnicos da Superintendência de Geodésia", da Diretoria de Geodésia e Cartografia - IBGE, acumuladas em mais de quarenta anos de atividades, atendidos os acordos internacionais dos quais o Brasil é signatário.

CAPÍTULO I

Considerações Gerais

1. *INTRODUÇÃO*

Classicamente a Geodésia tem sido definida, a parte de seus objetivos, como a ciência que se ocupa da determinação da forma, das dimensões e do campo gravitacional da Terra.

O problema geodésico, de natureza físico-geométrica, diante da colocação anterior e em primeira análise, pode ser tratado como o da definição de um sistema de coordenadas em que fiquem caracterizados os pontos descritores da superfície física da Terra (ou superfície topográfica).

O sistema de coordenadas associado à família de pontos descritores denomina-se *SISTEMA GEODÉSICO,* sendo necessária, para se atingir os objetivos da Geodésia, a sua extensão à toda superfície da Terra. Operacionalmente a definição de um Sistema Geodésico Mundial esbarra nas fronteiras políticas, obrigando-se ao recurso de subsistemas que poderão, ou não, vincular-se a outros mais abrangentes, embora seja desejável, cientificamente, a vinculação, ao menos, a nível continental.

2. *O SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO - SGB*

O Sistema Geodésico Brasileiro é definido a partir do conjunto de pontos geodésicos implantados na porção da superfície terrestre delimitada pelas fronteiras do país - pontos estes que são determinados por procedimentos operacionais e coordenadas calculadas, segundo modelos geodésicos de precisão compatível com as finalidades a que se destinam.

O Decreto-lei nº 243, de 28 de fevereiro de 1967, que fixa as "Diretrizes e Bases para a Cartografia Brasileira", preceitua o estabelecimento de um Sistema Plano-Altimétrico Único de pontos geodésicos de controle, materializados no terreno, para servir de base ao desenvolvimento de trabalhos de natureza cartográfica, constituindo-se no referencial único para a determinação de coordenadas e altitudes em território brasileiro.

O conceito de Sistema Plano-Altimétrico Único, de pontos Geodésicos de controle, direcionado no dispositivo legal para fins cartográficos, confunde-se com o anteriormente emitido para o Sistema Geodésicos.

2.1 – CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

Para o Sistema Geodésico Brasileiro, a imagem geométrica da Terra é definida pelo Elipsóide de Referência Internacional de 1967, aceito pela Assembléia Geral da Associação Geodésica Internacional que teve lugar em Lucerne, no ano de 1967. O referencial altimétrico coincide com a superfície equipotencial que contém o nível médio do mar, definido pelas observações maregráficas tomadas na baía de IMBITUBA, no litoral do Estado de Santa Catarina.

O Sistema Geodésico Brasileiro integra o Sul-Americano de 1969 (SAD-69), definido a partir dos parâmetros:

a – figura geométrica para a Terra:

– Elipsóide Internacional de 1967:

a (semi-eixo maior) = 6.378.160,000 m

f (achatamento) = 1/298,25

b – Orientação:

– Geocêntrica:

eixo de rotação paralelo ao eixo de rotação da Terra; plano meridiano origem paralelo ao plano meridiano de GREENWICH, como definido pelo BIH (Bureau International de l'Heure).

– Topocêntrica:

no vértice CHUÁ da cadeia de triangulação do paralelo 20° S:

Φ = 19° 45' 41,6527" S

λ = 48° 06' 04,0639" W Gr

α = 271° 30' 04,05"SWNE para VT-UBERABA

N = 0,0 m

O estabelecimento do Sistema Geodésico Brasileiro desenvolve-se tendo como objetivo contribuir para a solução do problema geodésico, sem, contudo, se descuidar dos aspectos aplicados, em que a preocupação maior é a referência para as atividades cartográficas. Os pontos geodésicos, subsidiariamente, suprem a comunidade técnica nacional das informações necessárias à condução dos assuntos públicos, principalmente as que permitem apoiar as grandes obras de engenharia tais como: sistemas de comunicação; transmissão de energia; barramentos para geração de energia ou abastecimento de água e titulação de propriedades, dentre outras não menos importantes.

3. *LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS*

3.1 – CONCEITOS

O estabelecimento do sistema geodésico se desenvolve a partir do conjunto de atividades que objetivam a definição das coordenadas (parâmetros) dos pontos integrantes do sistema. Denomina-se "Levantamentos Geodésicos" ao conjunto de atividades voltadas para as medições e observações de grandezas físicas e geométricas que conduzem à obtenção dos parâmetros.

A variabilidade dos resultados decorrentes dos processos de medição é propriedade bem conhecida dos profissionais que militam nas ciências experimentais. A repetição do processo de medição conduzirá a valores diversos para as medidas, sendo perfeitamente justificável a flutuabilidade dos resultados, diante da impossibilidade de se controlar as influências do meio que cerca a realização das medições, influências nem sempre atribuídas a agentes físicos.

O comportamento inconstante das observações define o caráter estatístico dos resultados, podendo ser considerado como sua principal propriedade. Classicamente se atribui as variações dos resultados aos erros de observação.

Para melhor se aquilatar as propriedades estatísticas das observações, torna-se necessárias a repetição do processo de medição, com o registro de todas as condições físicas que o cercam, de modo a possibilitar, posteriormente, um julgamento adequado dos resultados.

A dispersão das observações em torno do valor verdadeiro – desvios no sentido estatístico – representa os efeitos do meio sobre as observações, distinguindo-se:

– efeito acidental (erro acidental);

– efeito sistemático (erro sistemático);

– engano (erro grosseiro).

Quando os desvios se apresentam com comportamento completamente aleatório, diz-se que as observações estiveram sujeitas aos efeitos acidentais – erros acidentais – sem qualquer possibilidade de controle e tradução matemática.

Apresentando-se os desvios com comportamento tendencioso nem sempre conhecido e dependente das circunstâncias que cercam o processo de medição, as observações são ditas eivadas de erros sistemáticos. As falhas operacionais no decurso do processo de medição dão origem às observações enganosas ou eivadas de erros grosseiros, identificadas a partir dos altos valores dos desvios.

A flutuabilidade dos resultado dos processos de medição decorre da existência dos efeitos anteriormente descritos. Na impossibilidade de se obter o valor verdadeiro para a grandeza em observação, buscam-se *CORREÇÕES* que conduzam ao valor mais provável das medidas. No processo de determinação das correções deverão ser, obrigatoriamente, eliminados os enganos, da mesma forma que é desejável a minimização dos efeitos sistemáticos.

Os analistas, diante da variabilidade dos resultados, sentem-se inseguros na utilização dos mesmos, tornando-se necessária a classificação das observações, para o que recorrem aos estimadores estatísticos a fim de expressarem a precisão e a exatidão. Estes estimadores são representados pelas variâncias das observações e dos parâmetros, denominando-se, classicamente, a raiz quadrada destes estimadores de erro médio ou erro padrão.

Convém observar, também, cuidados no emprego dos termos Precisão e Exatidão. A precisão expressa o grau de aderência das observações umas às outras. A exatidão expressa o grau de aderência do melhor valor para as observações em relação ao valor verdadeiro.

3.2 – CLASSIFICAÇÃO

Os Levantamentos Geodésicos se realizam segundo Especificações e Normas que procuram colimar a unicidade desejável para o Sistema Geodésico. Tradicionalmente, os levantamentos são classificados em ordens que expressam, em função da qualidade das observações, o grau de confiabilidade dos resultados finais. A terminologia clássica de primeira, segunda e terceira ordem foi mantida, em parte, no estabelecimento destas especificações, equivalente à nomenclatura que modernamente começa a se impor, por seu caráter mais representativo à luz da teoria do ajustamento de observações geodésicas. As três classes enumeram-se:

– Levantamentos Geodésicos de Alta Precisão

– Levantamento Geodésicos de Precisão

– Levantamento Geodésicos para fins Topográficos.

Nesta classificação dos levantamentos geodésicos considera-se o escalonamento dos trabalhos a nível nacional, regional e local. Desta forma, estabelece-se uma ligação bastante rígida entre a exatidão das coordenadas finais e o âmbito dos levantamentos sem, contudo, abandonar a colimação de objetivos particularizados, como é o caso das aplicações ao nível das regiões metropolitanas.

Os levantamentos de alta precisão, de âmbito nacional, subdividem-se, segundo os fins aos quais se destinam em: científico e fundamental. O primeiro voltado ao atendimento de programas de pesquisas internacionais e o segundo ao estabelecimento de pontos primários no suporte aos trabalhos geodésicos de menor precisão e às aplicações em cartografia.

Os levantamentos de precisão, do âmbito regional, condicionam-se ao grau de desenvolvimento sócio-econômico. Quanto mais valorizado o solo na região, mais precisos deverão ser, e, em conseqüência, mais exatos os seus resultados.

Os levantamentos geodésicos para fins topográficos, de características locais, dirigem-se ao atendimento dos levantamentos no horizonte topográfico; correspondem aos critérios em que a exatidão prevalece sobre simplificações impostas para a figura da Terra.

O Quadro (I) – CLASSIFICAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS – resume as finalidades e características gerais dos levantamentos, segundo as classes anteriormente apresentadas e o âmbito de sua aplicação. O critério de maior relevância para a classificação, fora as finalidades, é a exatidão, que pode ser expressa:

– na planimetria, pelo erro padrão máximo admissível entre duas estações adjacentes;

– na altimetria, pela qualidade do fechamento de um circuito ou linhas, formada por duplo nivelamento, conectando estações de altitudes conhecidas;

– na gravimetria, a semelhança da altimetria, pela conexão de estações em que a aceleração da gravidade é conhecida.

QUADRO (I) – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

CLASSIFICAÇÕES DOS LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS

LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS					
	DE ALTA PRECISÃO ÂMBITO NACIONAL		DE PRECISÃO ÂMBITO REGIONAL		PARA FINS TOPOGRÁFICOS
	CIENTÍFICO	FUNDAMENTAL (OU DE 1ª ORDEM)	PARA ÁREAS MAIS DESENVOLVIDAS (OU DE 2ª ORDEM)	PARA ÁREAS MENOS DESENVOLVIDAS (OU DE 3ª ORDEM)	LOCAL
FINALIDADE	Dirigido ao atendimento de programas internacionais, de cunho científico, segundo normas específicas, acordadas caso a caso. Sua realização deverá se dar sem prejuízo do fundamental, que terá precedência de utilização.	Pontos básicos para amarrações e controle de trabalhos geodésicos e cartográficos, desenvolvido segundo especificações internacionais, constituindo o sistema único de referência.	Dirigido ao atendimento das necessidades de uma região onde se desenvolvem atividades humanas intensas e, em conseqüência, existe uma valorização elevada do solo.	Dirigido às áreas remotas ou àquelas em que não se justifiquem investimentos imediatos e, sempre, em função da inexistência ou impossibilidade de se desenvolver levantamentos geodésicos de alta precisão.	Dirigido ao atendimento dos levantamentos no horizonte topográfico, prevalecendo os critérios de exatidão sobre as simplificações para a figura da Terra.
PLANIMETRIA					
EXATIDÃO	Conforme as aplicações, sendo julgada caso a caso, mas devendo ser o erro padrão relativo de quaisquer duas estações melhor que 1:500.000 após o ajustamento.	Melhor que 1:100.000	Melhor que 1:50.000	Melhor que 1:20.000	Melhor que 1:5.000
DESENVOL - VIMENTO	A estrutura será desenvolvida caso a caso, de acordo com as finalidades de cada projeto.	Arcos de meridianos e paralelos espaçados de 1ª estações com espaçamento desejável de 15 km e no máximo de 25 km. Nas áreas metropolitanas o espaçamento será função das características do processo de urbanização, com estações afastadas de, no máximo 5 km.	Em função da área a ser atendida, com estações espaçadas de 10 a 20 km. Nas áreas metropolitanas o espaçamento das estações deverá ser de até 5 km, tendo a configuração adaptada aos aspectos da urbanização.	Em função da área a ser atendida, com estações espaçadas de 10 a 20 km. Nas áreas metropolitanas o espaçamento das estações deverá ser limitado a 5 km.	Em função dos objetivos específicos a serem atingidos, com estações afastadas entre 5 a 10 km. Nas áreas metropolitanas o espaçamento das estações deverá ser de 0,5 a 2 km.
EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO	Pesquisas sobre a deriva continental; conexões de Sistemas Geodésicos; estudos e definição dos parâmetros para Sistemas Geodésicos.	Elaboração de cartas gerais; apoio e controle das obras de engenharia e estudos científicos em geral.	Elaboração de cartas gerais; controle e locação de projetos de engenharia.	Elaboração de cartas gerais; controle e locação de obras de engenharia.	Levantamentos e parcelamentos de áreas de pequeno valor; pequenas obras locais; elaboração de cartas gerais.

QUADRO (I - CONT.) – SISTEMA GEODÉSICO BRASILIRO

CLASSIFICAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS

ALTIMETRIA					
EXATIDÃO	Conforme as aplicações, sendo julgada caso a caso, mas devendo o erro padrão ser inferior a 2mm $\sqrt{k}$ para cada duas RN após o ajustamento.	Melhor que 2mm $\sqrt{k}$	Melhor que 3mm $\sqrt{k}$	Melhor que 4mm $\sqrt{k}$	Melhor que 6mm $\sqrt{k}$
DESENVOLVIMENTO	A estrutura será desenvolvida caso a caso de acordo com as finalidades de cada projeto. Basicamente em circuitos e acompanhada de medições gravimétricas (nivelamento geopotencial).	Em circuitos com até 400km de perímetro e estações materializadas, afastadas de no máximo 3 km. Nas áreas metropolitanas dar-se-á preferência ao desenvolvimento em circuitos, em função da urbanização, com estações materializadas e espaçadas de, preferencialmente, 1 km.	Em circuitos com até 200km de perímetro e estações materializadas, afastadas de no máximo 3 km. Nas áreas metropolitanas dar-se-á preferência ao desenvolvimento em circuitos, com esta-ções materializadas e afastadas de, preferencialmente, 1 km.	Em circuitos ou linhas, em função da área a ser atendida, com estações espaçadas de, no máximo, 3 km.	Em circuitos ou linhas, em função dos objetivos a serem atingidos pelos trabalhos.
EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO	Avaliação de movimentos da crosta terrestre; conexões de Sistemas Geodésicos; estudos e definição de parâmetros para os Sistemas Geodésicos; determinação de valores geopotenciais.	Elaboração de cartas gerais; apoio e controle das obras de engenharia e estudos científicos em geral.	Elaboração de cartas gerais; controle de obras de engenharia.	Elaboração de cartas gerais; controle de obras de engenharia.	Levantamentos e parcelamentos de áreas de pequeno valor; pequenas obras; estudos de drenagem e gradientes em áreas de topografia movimentada; elaboração de cartas gerais.

QUADRO (I - CONT.) – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

CLASSIFICAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS

GRAVIMETRIA				
	DE ALTA PRECISÃO ÂMBITO NACIONAL		DE PRECISÃO ÂMBITO REGIONAL	PARA FINS DETALHAMENTO
	CIENTÍFICO	FUNDAMENTAL (OU DE 1ª ORDEM)	REGIONAL (OU DE 2ª ORDEM)	LOCAL
FINALIDADE	Dirigido ao atendimento de programas internacionais, de cunho científico, segundo normas específicas, acordadas caso a caso. Sua realização deverá se dar sem prejuízo do fundamental, que terá procedência de utilização.	Pontos básicos para amarrações e controle de trabalhos geodésicos e geofísicos, implantados segundo especificações internacionais, constituindo o sistema único de referência ao IGSN-71.	Dirigido ao desdobramento do fundamental, visando facilitar os trabalhos de detalhamento do campo gravitacional.	Dirigido ao detalhamento do campo gravitacional.
EXATIDÃO	Conforme as aplicações, sendo julgada caso a caso, mas devendo ser o erro padrão melhor que 0,05 mgal, para qualquer estação após o ajustamento.	Melhor que 0,05 mgal	Melhor que 0,1 mgal	Melhor que 0,3 mgal
DESENVOLVIMENTO	A estrutura será desenvolvida caso a caso, de acordo com as finalidades de cada projeto.	Em circuitos com estações espaçadas de até 100 km, ou acesso para as medições com tempo inferior a 48 horas. As observações serão ajustadas a IGSN-71 e as estações deverão coincidir com as Referências de Nível decorrentes dos levantamentos altimétricos de alta precisão e de precisão.	Em circuitos com estações espaçadas de até 30 km, com acesso para as medições com tempo inferior a 72 horas. Serão coincidentes preferencialmente, com as estações estabelecidas nos levantamentos altimétricos de alta precisão e de precisão.	Função dos objetivos específicos de cada projeto.
EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO	Conexão de estações absolutas da rede mundial e estudos de escala nos levantamentos geométricos.	Estudos do campo gravitacional e estrutura da crosta terrestre; prospecção mineralógica; estudos de movimentos da crosta.	Estudos do campo gravitacional e estrutura da crosta terrestre; prospecção mineralógica; estudos de movimentos da crosta.	Estudos do campo gravitacional e estrutura da crosta terrestre; prospecção mineralógica; pesquisa de geondulações e desvio da vertical; determinação dos parâmetros definidores de um Sistema Geodésico.

CAPÍTULO II

Especificações e Normas Gerais para Execução de Levantamentos Geodésicos

1. *INTRODUÇÃO*

As Especificações e Normas Gerais abrangem os levantamentos planimétricos, altimétricos, gravimétricos e astronômicos, destacando-se, em cada um, os procedimentos usuais e consagrados, como por exemplo na planimetria serão especificados: a triangulação; a poligonação; a trilateração e o posicionamento por rastreamento de satélites (segundo o efeito DOPPLER).

As Especificações e Normas Gerais constituem elementos de orientação para se alcançar um determinado grau de exatidão, devendo-se julgá-las e aplicá-las em conjunto, para um dado procedimento. As Especificações representam as diretrizes que pautam a execução dos levantamentos geodésicos, recomendando-se a adoção das mesmas para todo e qualquer levantamento em território nacional, no sentido de garantir a vinculação destes ao Sistema Geodésico Brasileiro.

2. *ESPECIFICAÇÕES E NORMAS GERAIS PARA LEVANTAMENTOS PLANIMÉTRICOS*

Os levantamentos de características fundamental desenvolver-se-ão ao longo dos arcos de paralelos e medianos, na forma de cadeias com amplitude de 1°, sendo as estações integrantes distanciadas entre si de 15 a 25 km, no máximo. Nas áreas metropolitanas o espaçamento das cadeias será ditado pelo processo de urbanização, mantendo-se as estações afastadas de no máximo 5 km. Os pontos decorrentes destinam-se ao apoio cartográfico, ao suporte e controle das grandes obras de engenharia e aos estudos científicos em geral. Espera-se que o erro relativo máximo entre estações seja de 1/100.000.

Os levantamentos regionais serão desenvolvidos de acordo com a área a ser atendida, sendo usual as estações afastadas de 10 a 20 km. Nas regiões metropolitanas serão efetuados de modo a que o afastamento máximo entre estações seja de 5 km. Para as áreas mais desenvolvidas espera-se que o erro relativo máximo entre estações seja de 1/50.000, contrapondo-se nas áreas menos desenvolvidas 1/20.000. Tais levantamentos serão utilizados na elaboração de cartas gerais, na locação e controle de obras de engenharia, nos levantamentos e parcelamentos de áreas de grande e médio valor, dentre inúmeras outra aplicações.

Os levantamentos locais desenvolvem-se em função dos objetivos específicos a serem atingidos em cada obra, podendo-se dispor as estações com afastamentos que podem variar de 5 a 10 km. Nas regiões metropolitanas adotar-se-á o espaçamento de 0,5 a 2 km. Aplicam-se nos levantamentos e parcelamentos em área de médio e pequeno valor, e na locação e controle de obras de engenharia.

Nos levantamentos planimétricos serão utilizados os procedimentos de triangulação, trilateração, poligonação e rastreamento de satélites segundo o efeito DOPPLER. Os diversos processos poderão ser aplicados isoladamente ou em conjunto, mantendo-se, contudo, a precisão operacional exigida para cada um. Outros procedimentos para posicionamento planimétrico poderão vir a ser admitidos, desde que atendam às especificações mínimas necessárias e permitam alcançar a exatidão preconizada.

As determinações astronômicas serão utilizadas, subsidiariamente, na caracterização dos pontos de controle azimutal, pontos de LAPLACE, ou nos trabalhos de apoio à pesquisa do geóide; porém, as determinações efetuadas isoladamente não serão aceitas como contribuições ao Sistema Geodésico Brasileiro.

2.1 – ESPECIFICAÇÕES PARA TRIANGULAÇÃO

Entende-se por triangulação o procedimento em que se obtém figuras geométricas a partir de triângulos, justapostos ou sobrepostos, formados através da medição dos ângulos subtendidos por cada vértice. Ocasionalmente, alguns lados serão observados para controle de escala, sendo todos os demais calculados a partir das medidas angulares.

A triangulação é o mais antigo e utilizado processo de levantamento planimétrico, sendo, ainda hoje, o mais recomendado diante do baixo investimento em instrumental e equipamentos auxiliares.

Quadro (II) apresenta as especificações que permitem a formação de cadeias de triângulos, enquadráveis nas diferentes classes de levantamentos geodésicos.

As especificações definem os critérios básicos para a formação das figuras, mantendo-se o conceito de rigidez como o mais aceitável para, a priori, se controlar e definir a qualidade do desenvolvimento triangular. Os valores lançados no quadro, modificam substancialmente aqueles adotados anteriormente – bem mais elásticos. Contudo, a experiência demonstra que estes são facilmente atingíveis, sem custos adicionais para a medição angular, embora seja necessário aumentar o número de bases inseridas no controle da escala. Utilizar-se-á como figura básica o quadrilátero com duas diagonais observadas ou quadrilátero com um ponto central.

Para a medição angular apregoa-se o método das direções. Nos levantamentos de alta precisão e precisão, empregar-se-ão teodolitos com leitura direta menor que 1". Para os levantamentos de precisão em áreas menos desenvolvidas, bem como para fins topográficos, recomenda-se o emprego dos teodolitos com leitura direta de 1".

QUADRO (II) – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

ESPECIFICAÇÕES PARA TRIANGULAÇÃO

ÍTEM	LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS			
	De Alta Precisão	De Precisão		Para Fins Topográficos
	Fundamental	Áreas Mais Desenvolvidas	Áreas Menos Desenvolvidas	Local
1. ESPAÇAMENTO DOS VÉRTICES				
1.1 – Geral	15 – 25 km	10 – 20 km	10 – 20 km	5 – 10 km
1.2 – Regiões Metropolitanas	máximo de 5 km	2 – 5 km	2 – 5 km	0,5 – 2 km
2. FORMAÇÃO DAS FIGURAS (rigidez das figuras)				
2.1 – Conformação angular				
. desejável	60°	60°	60°	60°
. mínima	15°	15°	15°	15°
2.2 – R_1 entre bases (somatório)				
. limite desejável	30	60	60	120
. valor máximo aceitável	40	80	80	160
2.3 – R_1 para uma figura isolada				
. desejável	8	12	18	24
. valor máximo aceitável	16	24	24	48
2.4 – R_2 para uma figura isolada				
. desejável	15	30	60	120
. valor máximo aceitável	30	60	80	160
3. MEDIÇÃO ANGULAR HORIZONTAL				
3.1 – Método	das direções	das direções	das direções	das direções
3.2 – Instrumento (leitura direta)	≤ 0,2"	≤ 0,2"	≤ 0,2" ou ≤ 1,0"	≤ 1,0
3.3 – Número de série	2	2	1	1
3.4 – Intervalo de tempo entre séries (mínimo)	2 horas	2 horas	–	–
3.5 – Número de posições por série	16 PD 16 PI	16 PD 16 PI	8 PD ou 12 PD 8 PI ou 12 PI	4 PD 4 PI
3.6 – Limite de rejeição para uma posição em relação à média da série	4,0"	4,0"	5,0"	5,0"
3.7 – Número mínimo de posições, por série, após a rejeição	14 PD 14 PI	14 PD 14 PI	6 PD ou 10 PD 6 PI ou 10 PI	3 PD 3 PI
3.8 – Divergência máxima aceitável entre a primeira metade da série e a segunda	1,5"	1,5"	–	–
3.9 – Divergência máxima aceitável entre série	1,0"	1,0"	–	–
4. CONTROLE DOS TRIÂNGULOS				
4.1 – Fechamento dos triângulos				
. A médias dos fechamentos deverá ser inferior a	1,0"	1,2"	2,0"	5,0"
. Fechamento máximo aceitável para um triângulo plano isolado	3,0"	3,0"	5,0"	9,0"
4.2 – Equação aos lados				
. Nas equações de teste dos lados a correção média de uma direção não execederá a	0,3"	0,4"	0,6"	1,2"

QUADRO (II - CONT.) – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

ESPECIFICAÇÕES PARA TRIANGULAÇÃO

ÍTEM	LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS			
	De Alta Precisão	De Precisão		Para Fins Topográficos
	Fundamental	Áreas Mais Desenvolvidas	Áreas Menos Desenvolvidas	Local
5. CONTOLE AZIMUTAL				
5.1 – Espaçamento de figuras entre direções de controle	4 – 6	6 – 8	8 – 10	12 – 15
5.2 – Pontos de Laplace				
. Número de séries	2	2	1	1
. Número de posições por série	16 PD 16 PI	16 PD 16 PI	8 PD ou 12 PD 8 PI ou 12 PI	4 PD 4 PI
. Intervalo de tempo entre séries (mínimo)	4 horas	4 horas	–	–
. Valor máximo do erro padrão do azimute para a direção de controle	0,3"	0,3"	0,6"	1,0"
6. CONTROLE DE ESCAIA				
6.1 – Espaçamento das bases, inserção de uma base sempre que o somatório de R_1 ultrapassar	30	60	60	120
6.2 – Valor máximo para o erro padrão relativo do lado tomado como base	1/1 000 000	1/1 000 000	1/750 000	1/250 000
7. MEDIDA ANGULAR VERTICAL				
7.1 – Numero de posições recíprocas e simultâneas	4 PD 4 PI	4 PD 4 PI	4 PD 4 PI	2 PD 2 PI
7.2 – Valor máximo para a diferença de uma posição em relação à média	10"	10"	10"	10"
7.3 – Número limite de figuras entre pontos de altitude conhecida	6 – 8	6 – 8	8 – 10	15 – 20
7.4 – Valor máximo para o erro de fechamento em pontos de altitude conhecida	0,5 m/estação	0,5 m/estação	1 m/estação	–
8. ERRO PADRÃO RELATIVO MÁXIMO ACEITÁVEL ENTRE QUAISQUER DUAS ESTAÇÕES APÓS O AJUSTAMENTO	1/100 000	1/50 000	1/20 000	1/5 000

Nos levantamentos geodésicos de alta precisão e de precisão, em área mais desenvolvidas, recomenda-se a adoção de observação em duas séries de 32 pontarias (16 PD/16 PI) cada, espaçadas, no tempo, num intervalo mínimo de 2 horas, de modo a garantir o controle da refração lateral. Abandonar-se-ão as observações das séries cujas médias difiram de mais de 1". Para cada visada acionar-se-á o micrômetro duas vezes para coincidência, sendo ambas as leituras de calagem anotadas e aceitas as que apresentarem diferenças menores que 0,5"para os teodolitos de leitura direta igual ou menor que 0,2", ou diferenças menores que 3", para os teodolitos de leitura direta de 1".

O fechamento angular dos triângulos constitui um dos melhores controles para a qualidade da medição angular. Apresenta-se no Quadro (II) os valores de tolerância para a média dos fechamentos angulares. Recomenda-se a adoção do teste da equação aos lados, como elemento informativo e obrigatório no controle da qualidade dos ângulos. A correção média para uma direção observada, conseqüente da equação aos lados e em segundo de arco, será obtida utilizando-se a linearização logarítmica ou desenvolvimento em série, indistintamente. Os limites superiores para esta correção estão, também, caracterizados no Quadro (II).

Garantem-se os controles de orientação e escala através da introdução dos pontos de LAPLACE, ou azimutes de controle, e das bases. Quando o limite estipulado para a classe atingir o valor ΣR_1, será necessária a introdução de uma base, medida com um erro padrão compatível com a qualidade pretendida para o levantamento geodésico. Conforme as condições do terreno dever-se-á introduzir um azimute de controle, a espaços regulares, preferencialmente coincidente com a base. O Quadro (II) apresenta as condições segundo as quais recorre-se aos controles.

Subsidiariamente, admite-se a determinação das altitudes dos vértices da triangulação, utilizando-se o procedimento do nivelamento trigonométrico ou geodésico, em que as observações de ângulos verticais se realizam de forma recíproca e simultânea.

2.2 – ESPECIFICAÇÕES PARA TRILATERAÇÃO

A trilateração é um processo de levantamento semelhante a triangulação, sendo que em lugar da formação dos triângulos a partir da medição dos ângulos, o levantamento será efetuado através da medição dos lados.

A evolução dos medidores eletrônicos de distâncias (MED), tornou a aplicação do procedimento prático e economicamente variável, podendo, em determinadas circunstâncias, oferecer melhores resultados que a triangulação ou a poligonação.

Anteriormente, a trilateração era considerada um procedimento fadado ao abandono, diante da exigência de figuras complexas para se atingir condições geométricas redundantes, além de utilizar grande número de azimutes de controle. Mais recentemente, demonstrou-se, através de testes conduzidos em diversos países, que a geometria do quadrilátero é suficiente para os levantamentos geodésicos em arcos. Os modernos medidores eletrônicos de distâncias eliminam o excesso de controle azimutal, sendo suficiente a mesma densidade utilizada na triangulação.

O Quadro (III) espelha as especificações para trilateração, enquadrando o procedimento nas diversas classes de levantamentos aqui definidos.

As especificações definem as condições mínimas para a formação de figuras, preferindo-se a configuração em quadrados na manutenção da rigidez das cadeias; na impossibilidade, adotar-se-ão para os levantamentos de precisão, quadriláteros com ângulos superiores a 30° e nunca inferiores a 25°. O quadrilátero com um ponto central é a figura que reúne as melhores condições geométricas, embora sob o ponto de vista econômico, seja de custo mais elevado a utilização do sistema de quadriláteros com duas diagonais observadas. Independente da classe, para figuras com mais de quatro lados observados o ângulo mínimo deverá ser de 35° . Não serão implantadas cadeias com triângulos justapostos; quando de todo não for possível evitá-las nos levantamentos locais, deve-se observar, ao mesmo, um ângulo em cada triângulo.

A medição de distâncias com equipamentos eletrônicos sujeita-se a uma série de incertezas, principalmente as decorrentes de eventuais falhas no funcionamento dos componentes eletrônicos, imprecisa calibração dos instrumentos, imprecisão na determinação dos parâmetros meteorológicos, imprecisão na determinação das altitudes e centragem dos instrumentos e/ou dos refletores. Tais fatores, bem como os procedimentos operacionais dos MED, devem ser apropriadamente considerados quando se comparar as observações com as especificações. Normalmente, os erros instrumentais, definidos pelos fabricantes, encontram-se expressos pela resultante de uma componente constante e outra variável, sendo esta traduzida em termos de um número inteiro de milionésimas partes da unidade de medida da distância observada, ou seja:

$$e_d = \alpha \pm b \; \rho pm.D$$

Cabe destacar que esta colocação dos fabricantes, embora se mostre válida em diversos testes, não se aplica irrestritamente. Na medição das distâncias longas a imprecisão na tomada das leituras meteorológicas e a conseqüente indefinição do índice de refração, acarreta erros no valor da distância observada que não estão considerados na formulação do fabricante. Nas distâncias curtas a centragem de instrumentos e refletores, da mesma forma que a definição das altitudes dos pontos extremos, são essenciais para se alcançar maior exatidão no valor da distância observada, não sendo, todavia, considerados na expressão dos erros instrumentais.

Os MED mais modernos são classificados em eletro-ópticos e eletromagnéticos, em função da fonte radiante, luminosa ou emissora de radiofreqüência, respectivamente. Com os eletro-ópticos cuja fonte radiante é um emissor laser, podem-se medir distâncias maiores que 100 km, enquanto para aqueles, cujo elemento radiante é infra-vermelho, o alcance máximo é limitado a 10 km. Nos eletromagnéticos em que o elemento radiante é transmissor na faixa das microondas, o alcance se extende a mais de 100 km.

QUADRO (III) – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

ESPECIFICAÇÕES PARA TRILATERAÇÃO

ÍTEM	LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS			
	De Alta Precisão	De Precisão		Para Fins Topográficos
	Fundamental	Áreas Mais Desenvolvidas	Áreas Menos Desenvolvidas	Local
1. ESPAÇAMENTO DOS VÉRTICES				
1.1 – Geral	15 – 25 km	10 – 20 km	10 – 20 km	5 – 10 km
1.2 – Regiões Metropolitanas	máximo de 5 km	2 – 5 km	2 – 5 km	0,5 – 2 km
2. FORMAÇÃO DAS FIGURAS				
2.1 – O ângulo mínimo aceitável será de	25°	25°	25°	20°
3. MEDIÇÃO DOS LADOS				
3.1 – O valor máximo para o erro padrão relativo da distância, após a compensação será de	1/1 000 000	1/750 000	1/500 000	1/150 000
3.2 – Número mínimo de série de leituras recíprocas	2	2	2	2
3.3 – Intervalo mínimo de tempo entre leituras recíprocas	20 minutos	20 minutos	20 minutos	20 minutos
3.4 – Intervalo mínimo de tempo entre séries de leituras recíprocas	2 horas	2 horas	–	–
3.5 – Diferença máxima aceitável entre resultados de série	15 mm + 1 ppm.D	15 mm + 1 ppm.D	15 mm + 1 ppm.D	10 mm
3.6 – Diferença máxima aceitável entre leituras recíprocas quando se observa uma única série	–	–	20 mm + 1 ppm.D	20 mm
3.7 – Instrumento com leitura direta de/ou equivalente a	1 mm	1mm	1 mm	1mm
4. CONTROLE DA REFRAÇÃO ATMOSFÉRICA				
4.1 – Leitura estimada da temperatura	0,2° C	0,2° C	0,2°C	0,2° C
4.2 – Leitura estimada da pressão atmosférica	0,2 mm Hg	0,2 mm Hg	0,2 mm Hg	0,2 mm Hg
4.3 – Leituras recíprocas e simultâneas dos ângulos verticais envolvendo a medição de distância	Sim	Sim	Sim	–
5. CONTROLE AZIMUTAL				
5.1 – Espaçamento de figuras entre direções de controle	4 – 6	6 – 8	8 – 10	12 – 15
5.2 – Pontos de Laplace				
. Número de série	2	2	1	1
. Número de posições por série	16 PD 16 PI	16 PD 16 PI	8 PD ou 12 PD 8 PI ou 12 PI	4 PD 4 PI
. Intervalo de tempo entre série (mínimo)	4 horas	4 horas	–	–
. Valor máximo do erro padrão ao azimute para o lado de controle	0,3"	0,3"	0,6"	3,0"
6. MEDIÇÃO ANGULAR VERTICAL				
6.1 – Número de posições recíprocas e simultâneas	4 PD 4 PI	4 PD 4 PI	4 PD 4 PI	2 PD 2 PI
6.2 – Valor máximo para a diferença de uma posição em relação à média	10"	10"	10"	10"
6.3 – Número de figuras entre pontos de altitude conhecida	6 – 8	6 – 8	8 – 10	15 – 20
6.4 – Valor máximo para o erro de fechamento em pontos de altitude conhecida	0,5 m/estação	0,5 m/estação	1 m/estação	–
7. ERRO PADRÃO RELATIVO MÁXIMO ACEITÁVEL ENTRE QUAISQUER DUAS ESTAÇÕES APÓS O AJUSTAMENTO	1/100 000	1/50 000	1/20 000	1/5 000

Para os levantamentos de alta precisão, e de precisão, recomenda-se a medição da distância em duas ou mais séries de observações recíprocas, sob diferentes condições ambientais. As diferenças entre séries de observações não poderão exceder a 10 mm, para distâncias até 10 km, e a 15 mm mais uma parte por milhão da distância, quando esta exceder a 10 km. Quando do recurso a observações recíprocas em levantamentos de menor precisão, a diferença deverá ser inferior a 20 mm, para distâncias até 10 km.

Para linhas a partir de 20 km recomenda-se que as observações de ângulo vertical, recíprocas e simultâneas, se realizem antes e depois das medições de distâncias. Tal procedimento faculta o cálculo do índice de refração como forma de controle das leituras meteorológicas.

2.3 – ESPECIFICAÇÕES PARA POLIGONAÇÃO

Na poligonação medem-se ângulos e distâncias entre pontos adjacentes que formam linhas poligonais ou polígonos.

No quadro (IV) encontram-se as especificações para poligonação, destacando-se que a medição de ângulos é semelhante à adotada na triangulação e, a dos lados, na trilateração.

O desenvolvimento poligonal ideal é o linear, adaptado a um meridiano ou paralelo, sem mudanças bruscas no sentido de progressão, escolhendo-se o intervalo 120° – 180° como básico para o ângulo poligonal ou de flexão. Sendo impossível a manutenção da direção, no ponto em que ocorrer a mudança observar-se-á um azimute de controle, da mesma forma que em todos os pontos de interseção dos diferentes caminhamentos poligonais.

Sugere-se, na medição angular, a observação do ângulo interno e externo da poligonal que, para tanto, deverá ter utilizada metade das pontarias recomendadas nas séries para o interno e a remanescente para o externo, devendo a soma dos ângulos atender às tolerâncias:

- para os levantamentos de alta precisão: 360° ± 3";
- para os levantamentos de precisão. em áreas mais desenvolvidas: 360° ± 4";
- para os levantamentos de precisão em áreas menos desenvolvidas e nos levantamentos locais: 360° ± 5".

QUADRO (IV) – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO
ESPECIFICAÇÕES PARA POLIGONAÇÃO

ÍTEM	LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS			
	De Alta Precisão	De Precisão		Para Fins Topográficos
	Fundamental	Áreas Mais Desenvolvidas	Áreas Menos Desenvolvidas	Local
1. ESPAÇAMENTO ENTRE ESTAÇÕES				
1.1 – Geral	15 – 25 km	10 – 20 km	10 – 20 km	5 – 10 km
1.2 – Regiões Metropolitanas	máximo de 5 km	2 – 5 km	2 – 5 km	0,5 – 2 km
2. MEDIÇÃO ANGULAR HORIZONTAL				
2.1 – Método	das direções	das direções	das direções	das direções
2.2 – Instrumento (leitura direta)	≤ 0,2"	≤ 0,2"	≤ 0,2" ou ≤ 1,0"	≤ 1,0"
2.3 – Número de séries	2	2	1	1
2.4 – Intervalo de tempo entre séries (mínimo)	2 horas	2 horas	–	–
2.5 – Número de posições por série	16 PD 16 PI	16 PD 16 PI	8 PD ou 12 PD 8 PI ou 12 PI	4 PD 4 PI
2.6 – Limite de rejeição para uma posição em relação à média da série	4,0"	4,0"	5,0"	5,0"
2.7 – Número mínimo de posições por série, após a rejeição	14 PD 14 PI	14 PD 14 PI	6 PD ou 10 PD 6 PI ou 10 PI	3 PD 3 PI
2.8 – Divergência máxima aceitável entre a primeira metade da série e a segunda	1,5"	1,5"	–	–
2.9 – Divergência máxima aceitável entre séries	1,0"	1,0"	–	–
3. MEDIÇÃO DOS LADOS				
3.1 – Número mínimo de séries de leitura recíprocas	2	2	1	1
3.2 – Intervalo mínimo de tempo entre leituras recíprocas	20 minutos	20 minutos	20 minutos	20 minutos
3.3 – Intervalo mínimo de tempo entre séries de leituras recíprocas	2 horas	2 horas	–	–
3.4 – Diferença máxima aceitável entre resultados de séries	15 mm + 1 ppm.D	15 mm + 1 ppm.D	15 mm + 1 ppm.D	10 mm
3.5 – Diferença máxima aceitável entre leituras recíprocas quando se observa uma única série	–	–	20 mm + 1 ppm.D	20 mm
4. CONTROLE DA REFRAÇÃO ATMOSFÉRICA				
4.1 – Leitura estimada da temperatura	0,2° C	0,2° C	0,2° C	0,2° C
4.2 – Leitura estimada da pressão atmosférica	0,2 mm Hg	0,2 mm Hg	0,2 mm Hg	0,2 mm Hg
4.3 – Leitura recíprocas e simultâneas dos ângulos verticais, envolvendo a medição de distâncias	Sim	Sim	Sim	–
5. CONTROLE AZIMUTAL				
5.1 – Espaçamento entre lados de controle	4 – 6	6 – 8	8 – 10	12 – 15
5.2 – Pontos de Laplace				
. Número de séries	2	2	1	1
. Número de posições por séries	16 PD 16 PI	16 PD 16 PI	8 PD ou 12 PD 8 PI ou 12 PI	4 PD 4 PI
. Intervalo de tempo entre séries (mínimo)	4 horas	4 horas	–	–
. Valor máximo do erro padrão do azimute para a direção de controle	0,3"	0,3"	0,6"	3,0"
5.3 – Erro de fechamento em azimute, máximo permitido, entre direções de controle (N = número de estações)	0,8"/estação ou 1" $\sqrt{N}$	2"/estação ou 3" $\sqrt{N}$	3"/estação ou 6" $\sqrt{N}$	8"/estação ou 20" $\sqrt{N}$

QUADRO (IV -CONT.) – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

ESPECIFICAÇÕES PARA POLIGONAÇÃO

ÍTEM	LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS			
	De Alta Precisão	De Precisão		Para Fins Topográficos
	Fundamental	Áreas Mais Desenvolvidas	Áreas Menos Desenvolvidas	Local
6. MEDIÇÃO ANGULAR VERTICAL				
6.1– Número de posições recíprocas e simultâneas	4 PD 4 PI	4 PD 4 PI	4 PD 4 PI	2 PD 2 PI
6.2– Valor máximo para a diferença de uma posição em relação a média	10"	10"	10"	10"
6.3– Número de lados entre pontos de altitude conhecida	6 – 8	6 – 8	8 – 10	15 – 20
6.4– Valor máximo para o erro de fechamento em pontos de altitude conhecida	0,5 m/estação	0,5 m/estação	1 m/estação	–
7. FECHAMENTO EM COORDENADAS Valor máximo para o erro padrão em coordenadas após a compensação em azimute (L = comprimento da poligonal em km)	0,04 m $\sqrt{L}$	0,1 m $\sqrt{L}$	0,2 m $\sqrt{L}$	0,8 m $\sqrt{L}$
8. ERRO PADRÃO RELATIVO MÁXIMO ACEITÁVEL ENTRE QUAISQUER DUAS ESTAÇÕES APÓS O AJUSTAMENTO	1/100 000	1/50 000	1/20 000	1/5 000

O controle azimutal deverá ser rigorosamente observado, considerando que os desenvolvimentos poligonais tendem a se apresentar com grandes erros de orientação, o que recomenda a estreita observância dos limites fixados para os erros de fechamento em azimute, mantendo-se as tolerâncias preconizadas entre as direções de controle. No Quadro (IV) as tolerâncias apresentam-se com dupla notação, sendo expressas em termos da raiz quadrada do número de estações (N) para os desenvolvimentos longos, ou aqueles em que se exige grande exatidão no posicionamento relativo das estações.

2.4 – ESPECIFICAÇÕES PARA O POSICIONAMENTO COM O RASTREAMENTO DE SATÉLITES SEGUNDO O EFEITO DOPPLER.

O posicionamento geodésico com o emprego de georeceptores no rastreamento de satélites artificiais, recorrendo ao efeito DOPPLER, despontou ao início da década de setenta como um dos mais promissores procedimentos para realização de levantamentos geodésicos em áreas de difícil acesso. No momento utiliza-se o sistema do U.S. NAVY NAVIGATION SATELLITE SYSTEM (NNSS), algumas vezes referenciados na literatura como TRANSIT, composto de seis satélites, do tipo "OSCAR" e "NOVA", em órbita de forma circular e desenvolvimento polar, posicionados a uma altitude de aproximadamente 1.000 km , com um período de revolução na faixa de 107–109 minutos.

Os satélites operam com freqüências portadoras de 150 e 400 MHz, moduladas em fase, e transmitem as seguintes informações:

- sinais horários;
- identificação do satélite;
- parâmetros de posicionamento orbital (efemérides).

TABELA (1)

SATÉLITES EM ÓRBITA

NOME	DENOMINAÇÃO SEGUNDO DIFERENTES ORGANISMOS		
	COSPAR	APL	DMA
OSCAR 11	77-106-A	30.110	93
OSCAR 13	67-048-A	30.130	59
OSCAR 14	70-092-A	30.140	60
OSCAR 19	70-067-A	30.190	68
OSCAR 20	73-081-A	30.200	77
NOVA	81-044-A	30.480	–

A definição de posições se dá segundo diferentes procedimentos, sendo usuais: o de posicionamento isolado; o de translocação e o dos arcos curtos ou multi-posicionamento.

Todos os procedimentos calcam-se em observações reduzidas a partir de um conjunto de efemérides definidoras e descritoras da órbita ou posições do gravitante. Distingue-se dois grupos de efemérides: as precisas e as operacionais.

Obtém-se as efemérides operacionais, transmitidas pelos satélites, a partir de extrapolações realizadas com base em dados coligidos por uma malha de quatro estações, denominada OPNET-OPERACIONAL NET – situadas em território norte-americano (Havaí, Califórnia, Minnesota e Maine). O cálculo dos parâmetros orbitais é realizado uma vez por dia, recorrendo-se a informações acumuladas em 36 horas de rastreamento, memorizadas a bordo dos satélites duas vezes por dia.

As efemérides operacionais vêm sendo calculadas, a partir de dezembro de 1975, na consideração de modelo geopotencial WGS-72 e com o referencial geométrico definido pelas quatro estações fixas. O sistema assim formado é denominado NWL-10D.

Ocorre, com freqüência, confusões em torno do referencial definidor das efemérides operacionais.

A combinação do modelo geopotencial WGS-72 e o NWL-10D é erroneamente denominado Sistema WGS-72, no sentido corrente da sigla. A confusão tem origem no fato de ser a superfície geométrica do WGS-72 (a = 6.378.135,000 e f = 1/298,26) utilizada, algumas vezes associada às efemérides operacionais. Não existe nenhum elipsóide formalmente associado com as efemérides operacionais.

Todos os satélites que integram o sistema são acompanhados pela rede TRANET, composta de 20 estações distribuídas ao longo do globo terrestre. As efemérides precisas são calculadas, para um ou dois satélites, utilizando-se informações coligidas em 48 horas de rastreamento, por todas as estações integrantes da malha.

A distribuição das efemérides precisas é controlada pelo DEFENSE MAPPING AGENCY – DMA – e repassadas somente a órgãos governamentais, sem qualquer conotação comercial. No Brasil as efemérides precisas são recebidas, na forma de fitas magnéticas compatíveis com o uso em computadores, pela FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE.

O referencial para as efemérides precisas tem variado ao longo dos anos, em função do aprimoramento do modelo geopotencial e das coordenadas do conjunto de estações TRANET. No período de outubro de 1971 a junho de 1977 utilizou-se o referencial denominado NWL-9D, definido a partir do modelo geopotencial NWL-10E e o referencial geométrico definido pelas estações TRANET, conhecido como NWL-9D. A partir de junho de 1977 e até hoje, utiliza-se o referencial denominado NSWC-9Z-2, com modelo geopotencial NSWC-10F e referencial geométrico definido pelas estações TRANET. Na tabela (2), encontram-se, resumidas, as principais características dos referenciais.

TEBELA (2)

COMPARAÇÃO ENTRE OS REFERENCIAIS
PARA EFEMÉRIDES

SISTEMA	MODELO GEOPO-TENCIAL	CONJUNTO DE ESTAÇÕES	ELIPSÓIDE		PERÍODO DE USO
			a (m)	f	
EFEMÉRIDES PRECISAS					
NWL-9D	NWL-10E	NWL-9D (TRANET)	6.378.145,000	1/298,25	OUT/71 A JUN/77
NSWC-9Z-2	NSWC-10E-1	NSWC-9Z-2 (TRANET)	6.378.145,000	1/298,25	JUN/77
EFEMÉRIDES OPERACIONAIS					
APL-4.5	APL-4.5	APL-4.5 (OPNET)	6.378.135,000*	1/298,26	JUN/68 A DEZ/75
NWL-10D	WGS-72	NWL-10D (OPNET)	6.378.135,000*	1/298,26	DEZ/75

*Nenhuma superfície geométrica está formalmente associada.

Os diferentes procedimentos para posicionamento tem seu emprego condicionado às aplicações particulares de cada usuário, destacando-se que nenhum deles é capaz de satisfazer a todo espectro de utilização, seja do ponto de vista operacional ou de precisão dos resultados.

No procedimento denominado POSICIONAMENTO ISOLADO, utiliza-se um único receptor DOPPLER. As observações são reduzidas a partir de um conjunto de efemérides, definidoras da posição do gravitante, possibilitando o cálculo da posição do centro elétrico da antena do receptor, no sistema de coordenadas terrestres do satélite. A posição calculada deverá ser reduzida ao Sistema Geodésico Brasileiro, utilizando-se o Mapa Geoidal e os parâmetros de transformação recomendados pelo IBGE. Como se distingüe dois conjuntos de efemérides, os cálculos poderão ser conduzidos por um ou por outro, em função da confiabilidade e precisão dos resultados pretendidos pelo usuário.

A precisão resultante do emprego deste procedimento depende, basicamente:

– do tipo de efeméride;
– do modelo matemático empregado na redução das observações e cálculo final;
– da coleta de dados meteorológicos na estação;
– do número de passagens efetivamente aproveitadas no cálculo;
– da duração das passagens;
– da qualidade da recepção dos sinais transmitidos pelos satélites.

No procedimento denominado TRANSLOCAÇÃO, ocupam-se duas estações simultaneamente, sendo uma de coordenadas conhecidas e outra a ser determinada. Quando da utilização de efemérides operacionais, a aplicação das técnicas de correlação estatística, durante o processo de redução das observações, implementa a precisão do posicionamento relativo das estações, sendo, contudo, os resultados com efemérides precisas, mais confiáveis. O procedimento tem como principais fontes de erro as efemérides e a refração, tanto ionosférica quanto troposférica. O afastamento máximo das estações deverá ser de 500 km, preferencialmente menor, para se manter a possibilidade do rastreamento simultâneo de um mesmo satélite.

A principal vantagem da translocação sobre o posicionamento isolado e, conseqüentemente, sua maior precisão, decorre do fato de que, com as observações a partir de dois pontos, atenuam-se os efeitos dos erros inerentes aos parâmetros orbitais e a refração. Esta vantagem é melhor sentida quando as observações são simultâneas no tempo.

A precisão do emprego do procedimento depende:

– do tipo de efeméride;
– do modelo matemático empregado na redução das observações e cálculo final;
– do número de passagens efetivamente aproveitadas;
– da simultaneidade das observações;
– da qualidade da recepção dos sinais transmitidos pelos satélites.

No procedimento dos ARCOS CURTOS utiliza-se três ou mais rastreadores em diferentes estações, operando simultaneamente. Neste procedimento o conhecimento das efemérides é irrelevante, uma vez que no processo de cálculo determinam-se os parâmetros orbitais ao mesmo tempo em que se procede ao cálculo das coordenadas das estações. No mínimo, duas estações deverão ter coordenadas referidas ao Sistema Geodésico Brasileiro, para que ao término dos cálculos todas as estações fiquem determinadas neste Sistema. O modelo matemático utilizado na obtenção dos parâmetros orbitais condiciona a precisão alcançada com o procedimento.

O Posicionamento Isolado é o procedimento menos preciso, principalmente quando se recorre às efemérides transmitidas no processo de cálculo. A Translocação e o Multi-posicionamento são os procedimentos recomendados quando não se dispõe de efemérides precisas, embora as operações de campo e de cálculo sejam mais complexas.

Quando for necessária grande exatidão, as coordenadas determinadas através do procedimento de rastreamento de satélites deverão sofrer correção de escala. A correção é dependente do modelo de redução das observações e do tipo de efemérides utilizadas, sendo seu principal objetivo a compatibilização dos referenciais geométricos – sistemas geodésicos.

Para tornar qualquer procedimento mais preciso é necessária a tomada de observações meteorológicas imediatamente antes e depois de uma passagem do satélite. A temperatura deverá ser obtida com uma aproximação de 0,2°C e a pressão atmosférica de 0,2 mm Hg.

Comprovou-se, em pesquisa realizada nos últimos anos em diversas partes do globo, que durante o período de atividades solares intensas, ocorrem, nas regiões equatoriais, fortes perturbações que se traduzem em erros de posição de 2 a 3 metros, em altitudes e de 1 a 2 metros em latitude. Nas latitudes médias e altas nenhum efeito significativo foi observado. Nas latitudes equatoriais dever-se-á evitar a tomada de observações quando da ocorrência de fortes perturbações solares, a menos que a precisão almejada seja atingível independentemente desta interferência.

Todas as assertivas anteriores pressupõem que o georeceptor possui uma freqüência de referência com estabilidade melhor que 5×10^{11} partes por cem segundos. A deriva de freqüência deve ser controlada periodicamente no decorrer da ocupação das estações, no intuito de ser assegurada a sua estabilidade.

As especificações gerais, quanto à precisão do procedimento de posicionamento isolado, podem ser expressas em termos do erro padrão das componentes geocêntricas do vetor de posição da estação, denotado por σ. Na translocação ou no multi-posicionamento, a precisão é simbolizada pelo erro padrão das diferenciais das componentes geocêntricas do vetor de posição relativa das estações, este denotado por Δ_{σ}.

Ressalte-se serem os critérios anteriores os mais adequados para tratar a precisão com que se obtém a posição das estações terrestres. Os erros padrão das coordenadas geodésicas, obtidas através dos parâmetros para transformação de sistemas geodésicos e uso de mapas geoidais, não representam a qualidade do posicionamento utilizando-se o efeito DOPPLER. As coordenadas geodésicas, resultantes do processo, apresentam-se com os erros combinados.

O conhecimento atual do campo gravitacional, em território brasileiro, não permite a definição do grau de confiabilidade das coordenadas geodésicas, obtidas através do rastreamento de satélites artificiais.

O Quadro (V) sumariza as especificações para levantamentos geodésicos, empregando-se procedimentos de rastreamento de satélites segundo o efeito DOPPLER.

Quadro (V) – Sistema Geodésico Brasileiro – Especificações para Posicionamento com o Rastreamento de Satélites segundo Efeito DOPPLER

PROCEDIMENTO	EFEMÉRIDES	Nº DE PASSAGENS APROVEITADAS	σ OU $\Delta\sigma$. (m)
Posição isolada	Operacionais Precisas	60 – 30 40 – 20	2 – 5 m 0,5 – 1 m
Translocação (estações ≤ 200 km)	Operacionais ou Precisas	40	0,5 m
Arcos-Curtos (estações ≤ 200 km)	Operacionais ou Precisas	30	0,3 – 1 m

3. ESPECIFICAÇÕES E NORMAS GERAIS PARA LEVANTAMENTOS ALTIMÉTRICOS

Os Levantamentos Geodésicos de Alta Precisão desenvolver-se-ão na forma de circuitos, acompanhando a malha viária do país, preferencialmente ao longo das vias asfaltadas e servindo por ramais às cidades, vilas e povoados à margem das mesmas e distantes até 20 km. Os circuitos apresentar-se-ão com perímetro menor que 400 km, com estações – Referências de Nível – espaçadas de no máximo 3 km, no interior das linhas formadoras dos circuitos. Nas áreas metropolitanas desenvolver-se-ão em circuitos, condicionados em forma e dimensões ao processo de urbanização, mantendo-se as estações preferencialmente espaçadas de 1 km e de, no máximo, 3 km. Os resultados são utilizados no apoio cartográfico, no suporte e controle das grandes obras de engenharia e nos estudos científicos em geral. Espera-se que o fechamento dos circuitos antes do emprego dos métodos de ajustamento, seja inferior a 0,5 mm/km, considerando-se aplicadas as correções inerentes ao processo de medição.

Os Levantamentos Geodésicos de Precisão, nas áreas mais desenvolvidas, obedecerão o critério de circuitos de no máximo 200 km de perímetro, referenciados àqueles classificados como de Alta-Precisão. As estações serão espaçadas no interior das linhas de, no máximo, 3 km. Para as áreas menos desenvolvidas o desdobramento dar-se-á em circuitos ou linhas, em função das características regionais, mantendo-se o afastamento máximo de 3 km entre estações. Os resultados atendem de forma geral ao apoio cartográfico e a locação e controle de obras de engenharia.

Os levantamentos locais, vinculados aos de Alta-Precisão ou de Precisão, configurar-se-ão em circuitos ou linhas, em função do atendimento a que se destinem, sendo utilizados, principalmente, nos levantamentos e parcelamentos de propriedades, atendimento de pequenas obras e estudos de drenagem e gradientes.

No Quadro (VI) são apresentadas as especificações segundo as quais deverão se desenvolver o nivelamento geométrico, seguindo-se as classes anteriormente estabelecidas. O nivelamento duplo, nivelamento e contranivelamento, com o emprego de níveis automáticos ou de bolha providos de micrômetro ótico de placas plano-paralelas, é o procedimento recomendado para os levantamentos geodésicos de alta precisão e de precisão. Alternativamente aceitar-se-á o procedimento dos três fios com o micrômetro, de placas plano-paralelas, fixo.

São recomendados os cuidados usuais para se evitar a ocorrência e propagação dos erros sistemáticos, tão comuns nas operações de nivelamento geométrico. Os comprimentos das visadas de ré e vante deverão ser aproximadamente iguais, de modo a se compensar o efeito da curvatura terrestre e da refração atmosférica. Pela mesma razão, não se recomenda a utilização de visadas com mais de 100 m de comprimento, sendo ideal o comprimento de 60 m. Para evitar turbulências causadas pela reverberação, as visadas e, por tanto, as leituras deverão situar-se acima de 20 cm do solo. As miras deverão ser utilizadas aos pares, tomando-se o cuidado de alterná-las a ré e a vante, de modo que a mira posicionada no ponto de partida (lida a ré) seja posicionada no ponto de chegada (lida a vante), eliminando-se, assim, o erro de índice. Convém observar, a obrigatoriedade da colocação das miras sobre chapas ou pinos e, no caminhamento, sobre sapatas, nunca diretamente sobre o solo.

A qualidade dos trabalhos deverá ser controlada através das diferenças entre o nivelamento e o contranivelamento, seção a seção e acumuladas na linha, observando-se os valores limites de 3 mm $\sqrt{k}$, para os levantamentos de alta precisão, de 6 mm $\sqrt{k}$ para os de precisão em áreas mais desenvolvidas, e de 8 mm $\sqrt{k}$ para as áreas menos desenvolvidas e o de 12 mm $\sqrt{k}$ para os levantamentos locais, (k = distância nivelada em quilômetros). A manutenção deste controle permitirá se alcançar, após o ajustamento, os valores estipulados para a exatidão de cada classe.

4. ESPECIFICAÇÕES E NORMAS GERAIS PARA LEVANTAMENTOS GRAVIMÉTRICOS

A Gravimetria tem por finalidade o estudo do campo gravitacional terrestre, possibilitando, a partir dos seus resultados, aplicações na área da Geociência como, por exemplo, a determinação da figura e dimensões da Terra, a investigação da crosta terrestre e a prospecção de recursos minerais.

As Especificações e Normas Gerais abordam as técnicas de medições gravimétricas vinculadas às determinações relativas com uso de gravímetros estáticos.

QUADRO (VI) – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO
ESPECIFICAÇÕES PARA NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

ÍTEM	LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS			
	De Alta Precisão	De Precisão		Para Fins Topográficos
	Fundamental	Áreas Mais Desenvolvidas	Áreas Menos Desenvolvidas	Local
1. CONFIGURAÇÃO DOS CIRCUITOS E LINHAS				
1.1 – Geral				
. perímetro máximo dos circuitos	400 km	200 km	200 km	De acordo com as finalidades
. comprimento máximo das linhas	100 km	50 km	50 km	De acordo com as finalidades
. intervalo máximo entre as estações monumentadas ou comprimento máximo da seção	3 km	3 km	3 km	–
1.2 – Regiões metropolitanas				
. perímetro dos circuitos	8 – 10 km	2 – 8 km	De acordo com as finalidades	De acordo com as finalidades
. comprimento desejável das linhas	2 km	2 km	De acordo com as finalidades	De acordo com as finalidades
. comprimento da seção	1 – 3 km	1 – 3 km	< 3 km	< 3 km
2. MEDIÇÃO DE DESNÍVEIS				
2.1 – Procedimento	Nivelamento duplo (N e CN)	Nivelamento duplo (N e CN)	Nivelamento duplo (N e CN)	Nivelamento duplo (N e CN) ou simples
2.2 – Instrumental	Nível automático ou de bolha provido de micrômetro ótico de placas plano-paralelas. Miras de ínvar com dupla graduação.	Nível automático ou de bolha provido de micrômetro ótico de placas plano-paralelas. Miras de ínvar com dupla graduação.	Nível automático ou de bolha provido de micrô-metro ótico de placas plano-paralelas. Miras de ínvar.	Nível automático ou de bolha e miras.
2.3 – Colimação do nível (C)			Idem	
a) Não precisa ser retificado	ICI≤0,01 mm/m	Idem	Idem	–
b) Poderá ser retificado	0,01< ICI≤0,03 mm/m	Idem	Idem	–
c) Deverá ser retificado	ICI>0,03 mm/m	Idem	100 metros	–
2.4 – Comprimento máximo da visada	100 metros	100 metros	Idem	100 metros
2.5 – Divergência de leituras entre duas graduações em unidades da mira	0,0002 m	Idem	0,005 m	Idem
2.6 – Uso dos três fios – divergência entre o 1° e 2°, 2° e 3°	0,002 m	0,002 m		0,005 m
2.7 – Diferença máxima tolerável entre os comprimentos das visadas de ré e vante, acumulada para a seção	3 m	5 m	10 m	10 m
3. CONTROLES PARA A QUALIDADE				
3.1 – Diferença máxima aceitável entre o nivelamento e o contra-nivelamento de uma seção (k= comprimento da seção em km)	3 mm $\sqrt{k}$	6 mm $\sqrt{k}$	8 mm $\sqrt{k}$	12 mm $\sqrt{k}$
3.2 – Diferença máxima aceitável entre o nivelamento e o contra-nivelamento de uma linha (k = comprimento da linha em km)	4 mm $\sqrt{k}$	6 mm $\sqrt{k}$	8 mm $\sqrt{k}$	12 mm $\sqrt{k}$
3.3 – Valor máximo para a razão entre a discrepância acumulada e o perímetro do circuito	0,5 mm/km	5 mm/km	5 mm/km	10 mm/km
4. ERRO-PADRÃO MÁXIMO ACEITÁVEL PARA UMA LINHA APÓS O AJUSTAMENTO (k = comprimento da linha em km).	2 mm $\sqrt{k}$	3 mm $\sqrt{k}$	4 mm $\sqrt{k}$	6 mm $\sqrt{k}$

A Associação Geodésica Internacional objetivando homogeneizar os levantamentos gravimétricos instituiu como referencial a IGSM 71, INTERNATIONAL GRAVITY STANDARDIZATION NET-1971. Sua composição é de 25.510 estações ajustadas simultaneamente, determinadas segundo as mais diferentes técnicas e distribuídas mundialmente. Destas estações, 64 estão em território brasileiro.

À semelhança dos levantamentos planimétricos e altimétricos, os gravimétricos são desdobrados em: ALTA PRECISÃO, PRECISÃO e PARA FINS DE DETALHAMENTO.

Os levantamentos de ALTA PRECISÃO, Fundamental ou 1ª Ordem, têm por finalidade prover valores de controle para a aceleração da gravidade nos trabalhos regionais e locais. Vinculados à IGSN 71, desenvolvem-se em circuitos, com estações espaçadas, preferencialmente de, no máximo, 100 km ou a uma distância que permita um tempo de retorno às adjacentes, inferior a 48 horas. Os valores finais para a aceleração da gravidade serão determinados através de ajustamento, tomando-se as estações da IGSN 71 como fixas e com fechamento máximo, por circuitos, de 0,05 mgal.

Os levantamentos de precisão ou regional são apoiados nas estruturas decorrentes dos levantamentos de Alta Precisão, destinando-se ao atendimento das necessidades regionais.

Os levantamentos PARA FINS DE DETALHAMENTO, desenvolvidos em circuitos ou linhas, visam a descrição do campo gravitacional de forma exaustiva, em áreas limitadas. Os resultados destes levantamentos se expressam, normalmente, na forma de sua representação em iso-anômalas.

Quadro (VII) sintetiza as especificações gerais para os levantamentos retro-mencionados. Os levantamentos especiais, em sua maioria para fins científicos, exigirão normalização específica. Destaque-se a necessidade da inserção de estações absolutas na rede fundamental, através das quais se poderá desenvolver o controle de escala.

Além das características técnicas especificadas no Quadro, os gravímetros pelos seus princípios de construção, essencialmente mecânicos, exigem cuidados especiais, tais como:

– calibração instrumental, efetuada em base vinculada à IGSN 71 e abrangendo toda a amplitude de leitura da área em que será empregado e

– eliminação da deriva fictícia, causada por trepidações e interferências externas, no transporte entre estações.

Além das precauções relativas ao controle instrumental, convém observar-se:

– a caracterização cartográfica da estação, principalmente nos levantamentos de ALTA PRECISÃO e PRECISÃO, que deverá ter uma exatidão mínima de:

. em planimetria – ± 6" em latitude e longitude,

. em altimetria – coincidente com as estações estabelecidas nos levantamentos altimétricos fundamentais,

– a distribuição das estações em função dos acidentes topográficos marcantes (falhas e fraturas geológicas: grandes elevações e abaciamentos).

QUADRO (VII) – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

ESPECIFICAÇÕES PARA GRAVIMETRIA

ÍTEM	LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS		
	De Alta Precisão	De Precisão	Para Fins de Detalhamento
	Fundamental	Regional	Local
1. CONFIGURAÇÃO DOS CIRCUITOS E LINHAS			
1.1 – Espaçamento máximo das estações	100 km	30 km	De acordo com os objetivos.
1.2 – Localização das estações	Em Referência de Nível	Em Referência de Nível	De acordo com as finalidades.
1.3 – Tempo máximo de retorno à base	48 horas	72 horas	De acordo com os objetivos.
2. INSTRUMENTAL			
2.1 – Leitura direta ou equivalente	0,01 graduação	0,01 graduação	0,01 graduação
2.2 – Alcance de leitura sem "reset"	7000 mgal	7000 mgal	5000 mgal
2.3 – Controle termostático	Sim	Sim	Sim
3. MEDIÇÃO POR ESTAÇÃO			
3.1 – Número desejável de gravímetros em operação simultânea	3	3	–
3.2 – Condições operacionais por gravímetro			
3.2.1 – Número de leituras	4	4	2
3.2.2 – Discrepância entre leituras	0,003 graduação	0,003 graduação	0,03 graduação
3.2.3 – Intervalo de tempo para as leituras (máximo)	2 minutos	2 minutos	5 minutos
3.2.4 – Intervalo de tempo mínimo para estabilização	10 minutos	10 minutos	10 minutos
3.3 – Discrepância das médias de leituras entre gravímetros	0,003 graduação	0,003 graduação	0,03 graduação
4. CORREÇÕES			
4.1 – Atração luni-solar	Sim	Sim	Sim
4.2 – Deriva estática e dinâmica	Sim	Sim	Sim
4.3 – Pressão atmosférica	Sim	Sim	–
5. ERRO-PADRÃO MÁXIMO ACEITÁVEL DE FECHAMENTO DOS CIRCUITOS APÓS O AJUSTAMENTO	0,05 mgal	0,1 mgal	0,3 mgal

5. DETERMINAÇÕES ASTRONÔMICAS

As observações astronômicas são admitidas, acessoriamente, no desenvolvimento do Sistema Geodésico Brasileiro, sendo imprescindíveis no estabelecimento do controle de orientação nos levantamentos planimétricos. As observações astronômicas são empregadas, também, no nivelamento astrogeodésico e na obtenção dos valores para as geondulações e componentes do desvio da vertical.

Destaque-se que as modernas técnicas de posicionamento geodésico, com o emprego dos rastreadores portáteis de satélites artificiais, vieram exigir a retomada dos procedimentos astronômicos na determinação do azimute, elemento essencial ao desdobramento dos levantamentos geodésicos em áreas remotas.

As determinações astronômicas são classificadas em:

– determinações de alta precisão;

– determinações de precisão;

– determinações locais.

As determinações de alta precisão destinam-se ao controle das estruturas geodésicas classificadas em "científica" e de "fundamental", além subsidiar os estudos e pesquisas relativas ao geóide e orientação do elipsóide. As estações astronômicas de alta precisão, quando coincidentes com os vértices de triangulação, de trilateração e das poligonais, são comumentes denominadas de PONTOS DE LAPLACE, por serem utilizadas, primariamente, no controle azimutal das redes geodésicas.

As determinações astronômicas de precisão destinam-se ao controle dos levantamentos planimétricos de precisão e à densificação dos perfis astrogeodésicos, nas áreas em que se faz necessário o levantamento de incertezas e ambigüidades.

As determinações astronômicas locais destinam-se ao controle dos correspondentes levantamentos planimétricos.

QUADRO (VIII) – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO CLASSIFICAÇÃO DAS DETERMINAÇÕES ASTRONÔMICAS QUANTO À PRECISÃO

CLASSE	ERRO-PADRÃO DA LATITUDE OU DA LONGITUDE		ERRO-PADRÃO DO AZIMUTE	
	Desejável	Máximo	Desejável	Máximo
ALTA PRECISÃO	0,1"	0,3"	0,2"	0,4"
PRECISÃO	0,4"	1,0"	0,5"	1,5"
LOCAL	1,5"	2,0"	3,0"	3,0"

A precisão da posição final ou do azimute depende de diversos fatores, como a qualidade do instrumental empregado, o método de observação, a observância das condições propícias ao desenvolvimento da medição, o número de repetições, o reconhecimento e eliminação dos erros sistemáticos, a experiência do observador e, finalmente, a posição em latitude do observador. Estas considerações orientam a escolha do programa, o método de determinação e o instrumento a ser usado para se obter os vários graus de precisão.

Ressalte-se que as posições estelares deverão estar referidas ao sistema do FOURTH FUNDAMENTAL CATALOGUE (FK 4) publicado em 1963 pelo Astromisches Rechen Institut – Heidelberg. Anualmente edita-se o APPARENT PLACE OF FUNDAMENTAL STARS, com a posição aparente, a intervalos de dez dias.

A posição final e o azimute deverão ser reduzidos ao Polo Médio 1900,0 – 1905,0 como definido pelo Internacional Polar Motion Service (IPMS) e Bureau International l'Heure (BIH).

APÊNDICE I

Constantes Geodésicas

Este apêndice contém os principais Parâmetros e Constantes diretamente envolvidos na solução dos Problemas Geodésicos.

Ressalta-se que os valores aqui apresentados estarão sujeitos a mudanças, em conseqüência dos aprimoramentos instrumentais e modelos matemáticos com que foram determinados e calculados.

As unidades físicas são as do Sistema Internacional, a exceção da utilizada para a gravidade– o Galileu, símbolo Gal.

– velocidade da luz no vácuo (c):
$c = 299.792,458\ m.s^{-1} \pm 0,6\ m.s^{-1}$

– velocidade angular do movimento de rotação da Terra (ω)
$\omega = 7,292115\ 146 \times 10^{-5}$ rad. s^{-1}

– constante gravitacional geocêntrica, incluindo a atmosfera (GM):
$GM = 398,603 \times 10^{9}\ m^{3}\ s^{-2}$

– constante gravitacional Newtoniana (G):
$G = 6,672 \times 10^{-11}\ m^{3}\ s^{-3}\ Kg^{-1}$

– coeficientes das funções harmônicas zonais:
$J_2 = 10827 \times 10^{-7}$

$J_4 = 0,243 \times 10^{-5}$

– gravidade equatorial (γe)
$\gamma e = 978031,846$ m Gal

– potencial do geóide (ωo)
$\omega o = 6.263.703,0523 \times 10^{6}$ k Gal. m

– semi-eixo maior do elipsóide (Referência 1967)
a = 6.378.160,000 m

– achatamento do elipsóide:
1/f = 1/298,25

– fórmula para o cálculo da gravidade normal:

$$\gamma = 978,031846\ (1 + 0,005\ 278\ 895\ sen^{2}\Phi - 0,000\ 023\ 462\ sen^{4}\Phi)\ Gal$$

APÊNDICE II

Parâmetros para Transformação de Sistemas Geodésicos

1. *MODELO MATEMÁTICO*

(Equações diferenciais simplificadas de MOLODENSKII).

$$\Delta\Phi^0 = \frac{1}{M_1}\{ (a_1\ \Delta f + f_1\ \Delta a)\ \text{sen}\ 2\Phi_1 - \Delta x\ \text{sen}\Phi_1 \cos\lambda_1 - \Delta y\ \text{sen}\Phi_1\ \text{sen}\lambda_1 + \Delta z\ \cos\Phi_1\} \times \frac{180}{\pi}$$

$$\Delta\lambda^0 = \frac{1}{N_1 \cos\Phi_1}\ \{ -\Delta x\ \text{sen}\lambda_1 + \Delta y \cos\lambda_1 \} \times \frac{180}{\pi}$$

$$\Delta N = (a_1\ \Delta f + f_1\ \Delta a)\ \text{sen}^2\Phi_1 - \Delta a + \Delta x.\ \cos\Phi_1\ \cos\lambda_1 + \Delta y\ \cos\Phi_1\ \text{sen}\lambda_1 + \Delta z\ \text{sen}\Phi_1$$

$$\Phi_2^0 = \Phi_1^0 + \Delta\Phi^0$$

$$\lambda_2^0 = \lambda_1^0 + \Delta\lambda^0$$

onde:

a_1 = semi-eixo maior do elipsóide no sistema S_1

f_1 = achatamento do elipsóide no sistema S_1

Φ_1 = latitude geodésica no sistema S_1

λ_1 = longitude geodésica no sistema S_1

a_2 = semi-eixo maior do elipsóide no sistema S_2

f_2 = achatamento do elipsóide no sistema S_2

Φ_2 = latitude geodésica no sistema S_2

λ_2 = longitude geodésica no sistema S_2

ΔN = diferença de geondulação ($S_2 - S_1$)

Δx; Δy; Δz = parâmetros de translação do S_1 em referência ao S_2

Raio de curvatura 1° vertical no $S_1 = N_1 = \dfrac{a}{(1-e_1^2 \operatorname{sen}^2\Phi_1)^{1/2}}$

Raio de curvatura meridiana no $S_1 = M_1 = \dfrac{N_1}{1+e'^2_1 . \cos^2\Phi_1}$

$\Delta a = a_2 - a_1$

$\Delta f = f_2 - f_1$

$e_1^2 = f_1 (2 - f_1)$

$e'^2_1 = \dfrac{e_1^2}{1-e_1^2}$

2. *PARÂMETROS PARA TRANSFORMAÇÃO*

2.1 – CÓRREGO ALEGRE PARA SAD-69:

a_1 = 6.378.388,00 m

f_1 = 1/297,00

a_2 = 6.378.160,00 m

f_2 = 1/298,25

Δx = – 138,70 m

Δy = + 164,40 m

Δz = + 34,40 m

2.2–SAD-69 PARA CÓRREGO ALEGRE:

a_1 = 6.378.160,000 m

f_1 = 1/ 298,25

a_2 = 6.378.388,000 m

f_2 = 1/ 297,00

Δx = + 138,70 m

Δy = – 164,40 m

Δz = – 34,40 m

2.3 – NSWC-9Z-2 PARA SAD-69:

a_1 = 6.378.145,000 m

f_1 = 1/ 298,25

a_2 = 6.378.160,000 m

f_2 = 1/ 298,25

Δx = + 80,80 m

Δy = + 14,81 m

Δz = + 44,01 m

2.4 – SAD-69 PARA NSWC-9Z-2:

a_1 = 6.378.160,000 m

f_1 = 1/ 298,25

a_2 = 6.378.145,000 m

f_2 = 1/ 298,25

Δx = – 80,80 m

Δy = – 14,81 m

Δz = – 44,01 m

2.5 – NWL-10-D PARA SAD-69:

a_1 = 6.378.135,000 m

f_1 = 1/ 298,26

a_2 = 6.378.160,000 m

f_2 = 1/ 298,25

Δx = + 75,92 m

Δy = + 18,85 m

Δz = + 39,05 m

2.6– SAD-69 PARA NWL-10-D:

a_1 = 6.378.160,000 m

f_1 = 1/ 298,25

a_2 = 6.378.135,000 m

f_2 = 1/ 298,26

Δx = – 75,92 m

Δy = – 18,85 m

Δz = – 39,05 m

2.7 – PSAD-56 OU LA CANOA PARA SAD-69:

a_1 = 6.378.388,000 m

f_1 = 1/ 297,00

a_2 = 6.378.160,000 m

f_2 = 1/ 298,25

Δx = – 225 m

Δy = + 102 m

Δz = – 326 m

2.8 – SAD-69 PARA PSAD-56 OU LA CANOA:

a_1 = 6.378.160,000 m

f_1 = 1/ 298,25

a_2 = 6.378.388,000 m

f_2 = 1/ 297,00

Δx = + 225 m

Δy = – 102 m

Δz = + 326 m

ANEXO II CERTIFICADOS E GRÁFICOS DE AFERIÇÃO DAS MVI

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANA - SETOR DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE GEOMÁTICA - FONE (041) 360-23-30-08

LABORATORIO DE AFERICAO - Resp: Prof. SILVIO R. DE FREITAS.- Ope: Prof. PEDRO LUIS FAGGION

CALIBRACAO DA MIRA DE INVAR WILD-No.5270A Temperatura : 20 graus Celsius Data :11/11/94

6- 10.003	48- 429.992	90- 849.998	132- 1269.993	174- 1690.007	216- 2110.001	258- 2529.996
7- 20.009	49- 439.998	91- 860.007	133- 1279.996	175- 1700.009	217- 2120.010	259- 2539.995
8- 29.998	50- 450.002	92- 870.000	134- 1290.002	176- 1710.004	218- 2129.995	260- 2549.997
9- 40.011	51- 460.014	93- 879.998	135- 1299.989	177- 1720.006	219- 2140.011	261- 2559.990
10- 50.001	52- 470.012	94- 890.016	136- 1309.991	178- 1730.008	220- 2150.005	262- 2569.999
11- 60.011	53- 480.005	95- 900.008	137- 1319.998	179- 1740.001	221- 2160.013	263- 2579.997
12- 70.004	54- 490.011	96- 910.013	138- 1329.997	180- 1750.007	222- 2170.002	264- 2589.998
13- 80.002	55- 500.016	97- 920.012	139- 1340.000	181- 1760.002	223- 2180.013	265- 2599.993
14- 89.996	56- 510.014	98- 930.010	140- 1349.997	182- 1770.000	224- 2190.008	266- 2609.997
15- 100.011	57- 520.017	99- 940.007	141- 1359.985	183- 1780.007	225- 2200.006	267- 2619.997
16- 109.996	58- 530.013	100- 950.010	142- 1369.991	184- 1789.999	226- 2210.010	268- 2629.994
17- 120.003	59- 540.016	101- 960.001	143- 1379.991	185- 1800.001	227- 2220.016	269- 2640.011
18- 130.005	60- 550.018	102- 970.015	144- 1389.999	186- 1809.997	228- 2230.011	270- 2649.991
19- 140.004	61- 560.011	103- 980.013	145- 1399.994	187- 1820.004	229- 2240.026	271- 2660.016
20- 150.007	62- 570.012	104- 990.008	146- 1410.005	188- 1829.993	230- 2250.010	272- 2670.000
21- 159.999	63- 580.018	105- 1000.011	147- 1420.009	189- 1839.988	231- 2260.005	273- 2679.998
22- 170.000	64- 590.016	106- 1010.011	148- 1430.003	190- 1849.991	232- 2270.004	274- 2690.007
23- 180.003	65- 600.024	107- 1020.011	149- 1440.014	191- 1859.992	233- 2280.008	275- 2699.996
24- 189.998	66- 610.010	108- 1030.006	150- 1449.998	192- 1870.002	234- 2290.028	276- 2709.996
25- 199.988	67- 620.009	109- 1039.999	151- 1460.010	193- 1879.985	235- 2300.010	277- 2719.996
26- 210.000	68- 630.011	110- 1050.002	152- 1470.011	194- 1889.997	236- 2310.009	278- 2729.989
27- 220.001	69- 640.002	111- 1060.003	153- 1480.010	195- 1899.994	237- 2320.012	279- 2739.997
28- 230.003	70- 649.998	112- 1070.012	154- 1490.019	196- 1909.992	238- 2330.020	280- 2750.001
29- 240.012	71- 660.003	113- 1080.002	155- 1500.013	197- 1919.998	239- 2340.009	281- 2759.993
30- 250.001	72- 670.005	114- 1089.996	156- 1510.005	198- 1930.001	240- 2350.000	282- 2769.996
31- 260.002	73- 680.009	115- 1100.007	157- 1520.005	199- 1939.988	241- 2360.005	283- 2780.001
32- 270.003	74- 690.006	116- 1109.989	158- 1530.010	200- 1949.992	242- 2370.006	284- 2789.992
33- 280.001	75- 699.999	117- 1120.001	159- 1540.003	201- 1959.993	243- 2380.003	285- 2799.991
34- 289.997	76- 710.000	118- 1129.984	160- 1550.023	202- 1969.987	244- 2390.005	286- 2809.991
35- 299.999	77- 719.993	119- 1139.992	161- 1560.008	203- 1980.005	245- 2400.000	287- 2819.983
36- 310.002	78- 730.000	120- 1149.995	162- 1570.018	204- 1989.996	246- 2410.005	288- 2829.992
37- 320.005	79- 740.012	121- 1160.001	163- 1580.019	205- 1999.996	247- 2419.998	289- 2840.002
38- 330.003	80- 750.000	122- 1169.996	164- 1590.011	206- 2009.999	248- 2430.000	290- 2849.997
39- 340.010	81- 759.999	123- 1179.993	165- 1600.015	207- 2019.985	249- 2440.002	291- 2859.995
40- 350.009	82- 770.007	124- 1189.996	166- 1610.019	208- 2029.996	250- 2449.996	292- 2870.010
41- 360.015	83- 780.006	125- 1199.993	167- 1620.007	209- 2040.001	251- 2459.993	293- 2879.995
42- 370.002	84- 790.004	126- 1209.984	168- 1630.007	210- 2049.997	252- 2469.994	294- 2889.997
43- 380.006	85- 799.994	127- 1219.985	169- 1640.009	211- 2059.998	253- 2479.996	295- 2899.980
44- 390.010	86- 810.004	128- 1229.984	170- 1650.011	212- 2070.001	254- 2489.983	296- 2909.990
45- 399.996	87- 819.997	129- 1239.989	171- 1660.011	213- 2080.000	255- 2499.997	297- 2919.986
46- 409.997	88- 830.000	130- 1249.992	172- 1670.008	214- 2089.999	256- 2509.997	298- 2929.994
47- 419.998	89- 840.000	131- 1259.986	173- 1680.006	215- 2099.990	257- 2520.000	299- 2939.986

OBSERVACOES:

1. Os valores de afericao fornecidos são em (mm)

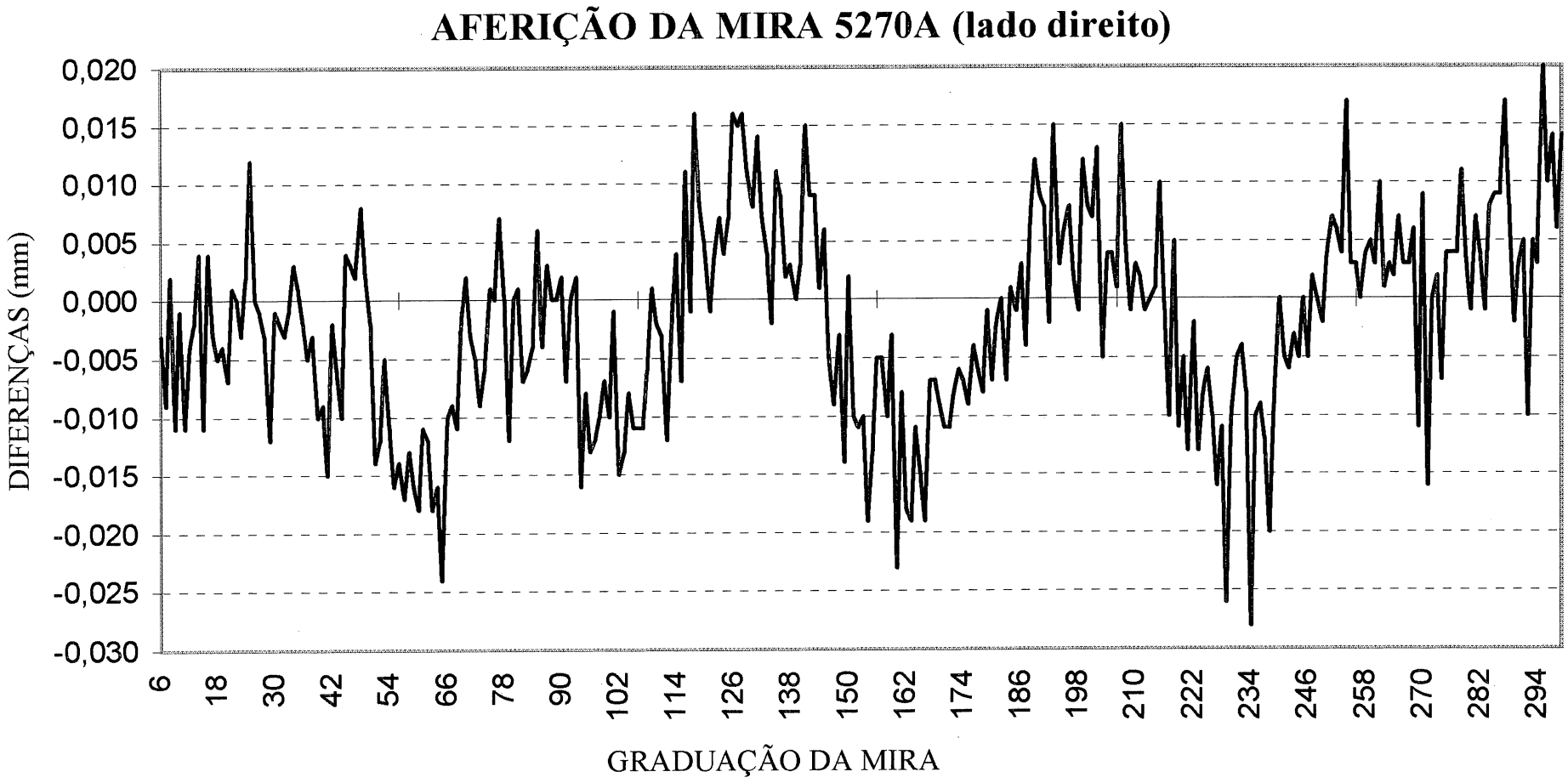
2. Desvio padrão médio : 0.005mm

3. A coluna da esquerda representa os tracos numerados da mira.

4. Os valores de calibracao representam a diferença entre o centro dos traços da mira e o centro do primeiro traço medido.

--- ---

Resp: Prof. Silvio R. de Freitas Oper: Prof. Pedro Luis Faggion


AFERIÇÃO DA MIRA 5270A (lado direito)
DIFERENÇAS (mm)
0,020
0,015
0,010
0,005
0,000
-0,005
-0,010
-0,015
-0,020
-0,025
-0,030
6
18
30
42
54
66
78
90
102
114
126
138
150
162
174
186
198
210
222
234
246
258
270
282
294
GRADUAÇÃO DA MIRA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANA - SETOR DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE GEOMÁTICA - FONE (041) 360-23-30-08

LABORATORIO DE AFERICAO - Resp: Prof. SILVIO R. DE FREITAS.- Ope: Prof. PEDRO LUIS FAGGION

CALIBRACAO DA MIRA DE INVAR WILD-No.5270A Temperatura : 20 graus Celsius Data :11/11/94

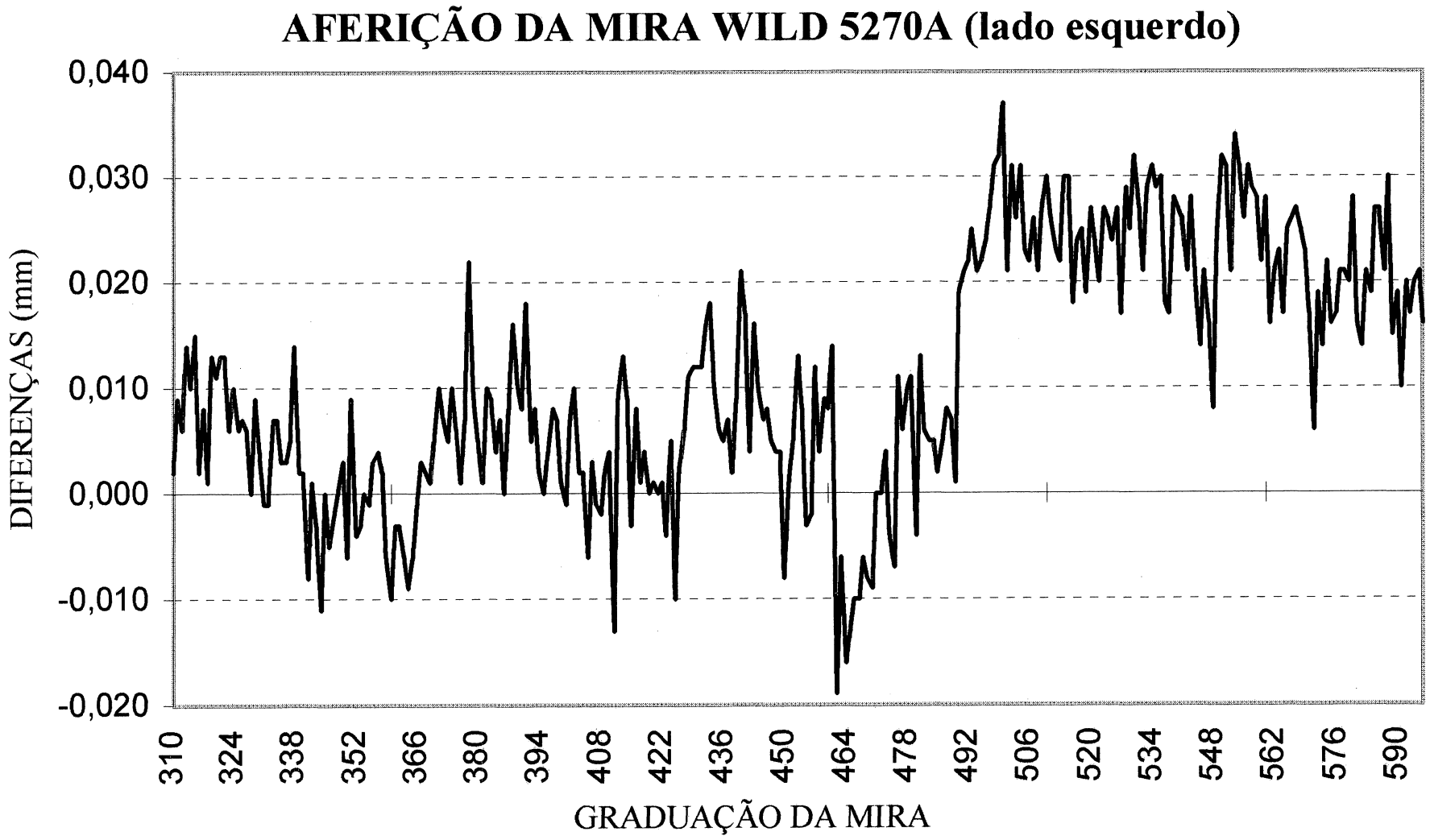
310- 9.998	351- 419.991	392- 829.995	433- 1239.982	474- 1650.004	515- 2059.970	556- 2469.969
311- 19.991	352- 430.004	393- 839.992	434- 1249.990	475- 1660.007	516- 2069.982	557- 2479.971
312- 29.994	353- 440.003	394- 849.998	435- 1259.994	476- 1669.989	517- 2079.976	558- 2489.972
313- 39.986	354- 450.000	395- 860.000	436- 1269.995	477- 1679.994	518- 2089.975	559- 2499.978
314- 49.990	355- 460.001	396- 869.996	437- 1279.993	478- 1689.990	519- 2099.981	560- 2509.972
315- 59.985	356- 469.997	397- 879.992	438- 1289.998	479- 1699.989	520- 2109.973	561- 2519.984
316- 69.998	357- 479.996	398- 889.993	439- 1299.991	480- 1710.004	521- 2119.976	562- 2529.979
317- 79.992	358- 489.998	399- 899.999	440- 1309.979	481- 1719.987	522- 2129.980	563- 2539.977
318- 89.999	359- 500.006	400- 910.001	441- 1319.983	482- 1729.994	523- 2139.973	564- 2549.983
319- 99.987	360- 510.010	401- 919.993	442- 1329.996	483- 1739.995	524- 2149.974	565- 2559.975
320- 109.989	361- 520.003	402- 929.990	443- 1339.984	484- 1749.995	525- 2159.976	566- 2569.974
321- 119.987	362- 530.003	403- 939.998	444- 1349.990	485- 1759.998	526- 2169.973	567- 2579.973
322- 129.987	363- 540.006	404- 949.998	445- 1359.993	486- 1769.995	527- 2179.983	568- 2589.975
323- 139.994	364- 550.009	405- 960.006	446- 1369.992	487- 1779.992	528- 2189.971	569- 2599.977
324- 149.990	365- 560.006	406- 969.997	447- 1379.995	488- 1789.993	529- 2199.975	570- 2609.983
325- 159.994	366- 570.001	407- 980.001	448- 1389.996	489- 1799.999	530- 2209.968	571- 2619.994
326- 169.993	367- 579.997	408- 990.002	449- 1399.996	490- 1809.981	531- 2219.973	572- 2629.981
327- 179.994	368- 589.998	409- 999.998	450- 1410.008	491- 1819.979	532- 2229.979	573- 2639.986
328- 190.000	369- 599.999	410- 1009.996	451- 1419.999	492- 1829.978	533- 2239.971	574- 2649.978
329- 199.991	370- 609.995	411- 1020.013	452- 1429.995	493- 1839.975	534- 2249.969	575- 2659.984
330- 209.996	371- 619.990	412- 1029.991	453- 1439.987	494- 1849.979	535- 2259.971	576- 2669.983
331- 220.001	372- 629.993	413- 1039.987	454- 1449.992	495- 1859.978	536- 2269.970	577- 2679.979
332- 230.001	373- 639.995	414- 1049.991	455- 1460.003	496- 1869.976	537- 2279.982	578- 2689.979
333- 239.993	374- 649.990	415- 1060.003	456- 1470.002	497- 1879.973	538- 2289.983	579- 2699.980
334- 249.993	375- 659.994	416- 1069.992	457- 1479.988	498- 1889.969	539- 2299.972	580- 2709.972
335- 259.997	376- 669.999	417- 1079.999	458- 1489.996	499- 1899.968	540- 2309.973	581- 2719.984
336- 269.997	377- 679.993	418- 1089.996	459- 1499.991	500- 1909.963	541- 2319.974	582- 2729.986
337- 279.995	378- 689.978	419- 1100.000	460- 1509.992	501- 1919.979	542- 2329.979	583- 2739.979
338- 289.986	379- 699.991	420- 1109.999	461- 1519.986	502- 1929.969	543- 2339.972	584- 2749.981
339- 299.998	380- 709.995	421- 1120.000	462- 1530.019	503- 1939.974	544- 2349.981	585- 2759.973
340- 309.998	381- 719.999	422- 1129.999	463- 1540.006	504- 1949.969	545- 2359.986	586- 2769.973
341- 320.008	382- 729.990	423- 1140.004	464- 1550.016	505- 1959.977	546- 2369.979	587- 2779.979
342- 329.999	383- 739.991	424- 1149.995	465- 1560.013	506- 1969.978	547- 2379.984	588- 2789.970
343- 340.003	384- 749.996	425- 1160.010	466- 1570.010	507- 1979.974	548- 2389.992	589- 2799.985
344- 350.011	385- 759.993	426- 1169.998	467- 1580.010	508- 1989.979	549- 2399.976	590- 2809.981
345- 360.000	386- 770.000	427- 1179.994	468- 1590.006	509- 1999.973	550- 2409.968	591- 2819.990
346- 370.005	387- 779.992	428- 1189.989	469- 1600.008	510- 2009.970	551- 2419.969	592- 2829.980
347- 380.002	388- 789.984	429- 1199.988	470- 1610.009	511- 2019.974	552- 2429.979	593- 2839.983
348- 390.000	389- 799.990	430- 1209.988	471- 1620.000	512- 2029.977	553- 2439.966	594- 2849.980
349- 399.997	390- 809.992	431- 1219.988	472- 1630.000	513- 2039.978	554- 2449.969	595- 2859.979
350- 410.006	391- 819.982	432- 1229.984	473- 1639.996	514- 2049.970	555- 2459.974	596- 2869.984

OBSERVACOES:

1. Os valores de aferição fornecidos são em (mm)
2. Desvio padrão médio : 0.008mm
3. A coluna da esquerda representa os traços numerados da mira.
4. Os valores de calibracao representam a diferença entre o centro dos traços da mira e o centro do primeiro traço medido.

--- ---

Resp: Prof. Silvio R. de Freitas Oper: Prof. Pedro Luis Faggion


AFERIÇÃO DA MIRA WILD 5270A (lado esquerdo)
DIFERENÇAS (mm)
0,040
0,030
0,020
0,010
0,000
-0,010
-0,020
310
324
338
352
366
380
394
408
422
436
450
464
478
492
506
520
534
548
562
576
590
GRADUAÇÃO DA MIRA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANA - SETOR DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE GEOMÁTICA - FONE (041) 360-23-30-08

LABORATORIO DE AFERICAO - Resp: Prof. SILVIO R. DE FREITAS.- Ope: Prof. PEDRO LUIS FAGGION

CALIBRACAO DA MIRA DE INVAR WILD-No.5270B Temperatura : 20 graus Celsius Data :11/11/94

6- 10.003	48- 429.992	90- 849.982	132- 1269.999	174- 1690.013	216- 2110.004	258- 2530.009
7- 20.004	49- 439.995	91- 859.984	133- 1279.999	175- 1700.012	217- 2120.011	259- 2540.013
8- 30.003	50- 449.994	92- 869.996	134- 1289.994	176- 1710.010	218- 2130.021	260- 2550.003
9- 40.012	51- 459.996	93- 879.994	135- 1299.995	177- 1720.008	219- 2140.016	261- 2560.011
10- 50.003	52- 470.005	94- 889.995	136- 1310.001	178- 1730.014	220- 2150.018	262- 2570.009
11- 59.998	53- 479.986	95- 900.002	137- 1320.000	179- 1740.018	221- 2160.023	263- 2580.012
12- 70.002	54- 490.000	96- 910.006	138- 1330.001	180- 1750.014	222- 2170.011	264- 2590.015
13- 80.001	55- 500.013	97- 920.002	139- 1339.992	181- 1760.000	223- 2180.018	265- 2600.010
14- 89.995	56- 510.008	98- 929.998	140- 1349.993	182- 1770.008	224- 2190.020	266- 2610.011
15- 100.005	57- 520.005	99- 939.997	141- 1359.996	183- 1780.015	225- 2200.023	267- 2620.014
16- 109.994	58- 530.006	100- 959.999	142- 1369.996	184- 1790.011	226- 2210.023	268- 2630.016
17- 120.008	59- 540.014	101- 959.999	143- 1379.995	185- 1800.020	227- 2220.017	269- 2640.024
18- 130.005	60- 550.014	102- 970.005	144- 1389.998	186- 1810.009	228- 2230.013	270- 2650.025
19- 140.009	61- 560.002	103- 979.997	145- 1399.999	187- 1820.002	229- 2240.023	271- 2660.040
20- 150.012	62- 570.004	104- 990.007	146- 1410.000	188- 1830.007	230- 2250.021	272- 2670.021
21- 159.999	63- 580.004	105- 999.998	147- 1420.004	189- 1840.012	231- 2260.019	273- 2680.020
22- 170.001	64- 590.004	106- 1010.011	148- 1429.997	190- 1850.000	232- 2270.024	274- 2690.020
23- 180.003	65- 599,995	107- 1020.002	149- 1439.990	191- 1860.011	233- 2280.016	275- 2700.021
24- 189.999	66- 610.010	108- 1029.999	150- 1449.997	192- 1870.002	234- 2290.021	276- 2710.015
25- 199.999	67- 619.999	109- 1040.010	151- 1460.005	193- 1879.999	235- 2300.012	277- 2720.023
26- 210.008	68- 629.995	110- 1049.999	152- 1470.008	194- 1890.000	236- 2310.014	278- 2730.024
27- 219.987	69- 639.987	111- 1060.002	153- 1480.005	195- 1900.000	237- 2320.030	279- 2740.020
28- 229.997	70- 649.986	112- 1070.011	154- 1490.011	196- 1909.993	238- 2330.018	280- 2750.020
29- 240.006	71- 660.002	113- 1079.998	155- 1500.012	197- 1920.004	239- 2340.013	281- 2760.014
30- 249.991	72- 670.997	114- 1090.005	156- 1510.003	198- 1930.002	240- 2350.018	282- 2770.015
31- 260.001	73- 679.986	115- 1099.991	157- 1520.011	199- 1940.005	241- 2360.014	283- 2780.014
32- 269.996	74- 686.998	116- 1110.000	158- 1529.997	200- 1950.006	242- 2370.016	284- 2790.016
33- 279.988	75- 700.003	117- 1120.000	159- 1540.005	201- 1960.005	243- 2380.018	285- 2800.010
34- 289.983	76- 710.003	118- 1129.993	160- 1550.011	202- 1970.000	244- 2390.016	286- 2810.005
35- 299.993	77- 720.007	119- 1139.995	161- 1560.008	203- 1980.004	245- 2400.024	287- 2820.009
36- 309.995	78- 729.988	120- 1150.000	162- 1570.014	204- 1990.003	246- 2410.018	288- 2830.011
37- 319.995	79- 739.999	121- 1160.000	163- 1580.016	205- 2000.002	247- 2420.013	289- 2840.023
38- 329.996	80- 749.994	122- 1170.001	164- 1590.009	206- 2010.006	248- 2430.010	290- 2850.008
39- 339.996	81- 759.993	123- 1179.992	165- 1600.004	207- 2020.003	249- 2440.011	291- 2860.015
40- 350.001	82- 769.996	124- 1190.011	166- 1610.014	208- 2030.005	250- 2450.010	292- 2870.025
41- 360.001	83- 779.998	125- 1199.991	167- 1620.016	209- 2040.010	251- 2460.007	293- 2880.022
42- 369.997	84- 789.974	126- 1209.997	168- 1630.011	210- 2050.005	252- 2470.010	294- 2890.016
43- 379.997	85- 799.990	127- 1219.982	169- 1640.011	211- 2059.999	253- 2480.012	295- 2900.015
44- 389.992	86- 809.991	128- 1229.984	170- 1650.015	212- 2070.010	254- 2490.010	296- 2910.014
45- 400.000	87- 819.994	129- 1239.990	171- 1660.017	213- 2080.009	255- 2500.015	297- 2920.015
46- 409.993	88- 829.984	130- 1249.997	172- 1670.013	214- 2090.006	256- 2510.015	298- 2930.012
47- 419.987	89- 839.994	131- 1259.982	173- 1680.011	215- 2100.010	257- 2520.022	299- 2940.017

OBSERVACOES:

1. Os valores de afericao fornecidos são em (mm)

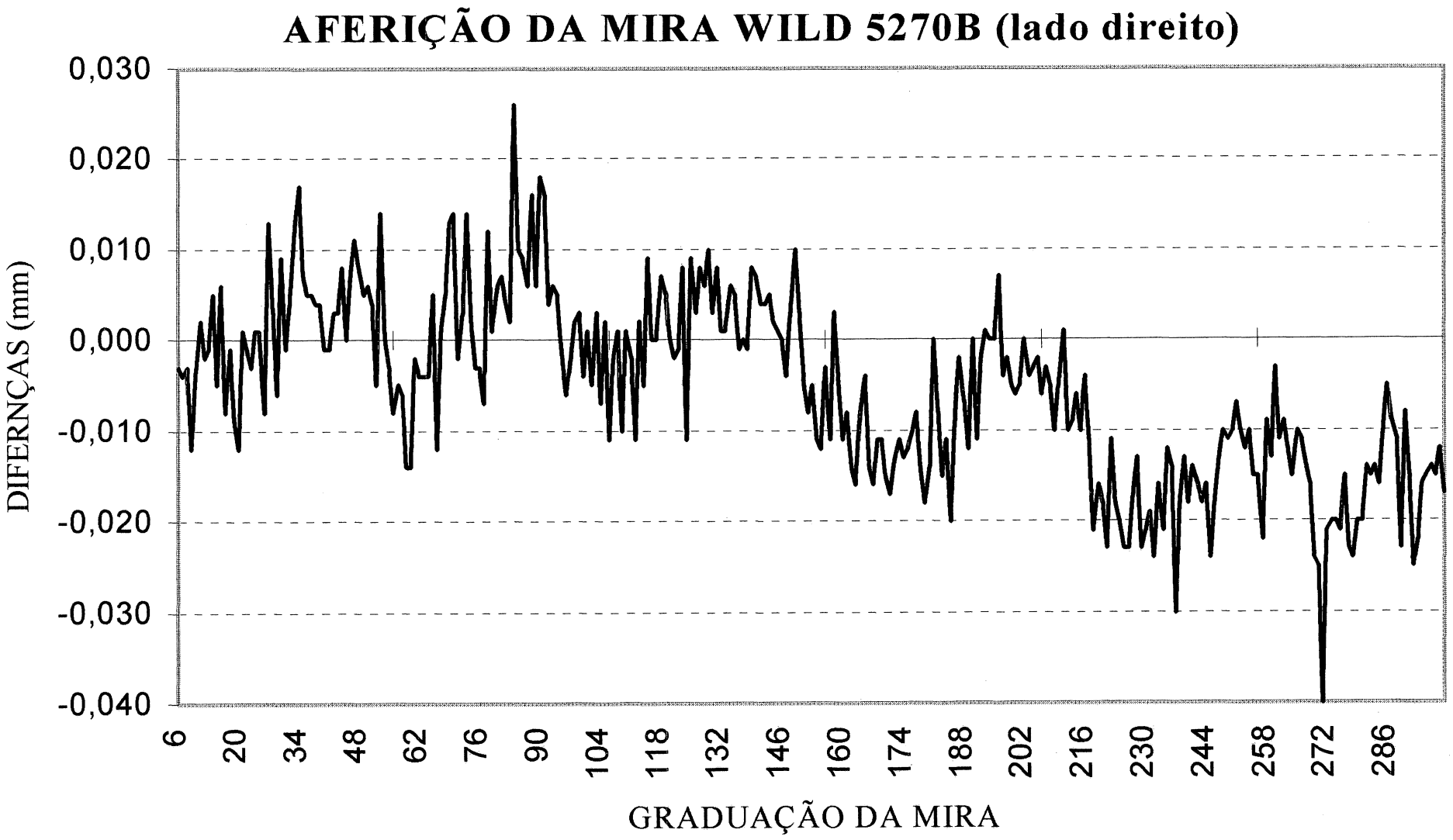
2. Desvio padrão médio : 0.005mm

3. A coluna da esquerda representa os tracos numerados da mira.

4. Os valores de calibracao representam a diferença entre o centro dos traços da mira e o centro do primeiro traço medido.

--- ---

Resp: Prof. Silvio R. de Freitas Oper: Prof. Pedro Luis Faggion


AFERIÇÃO DA MIRA WILD 5270B (lado direito)
DIFERNÇAS (mm)
0,030
0,020
0,010
0,000
-0,010
-0,020
-0,030
-0,040
6
20
34
48
62
76
90
104
118
132
146
160
174
188
202
216
230
244
258
272
286
GRADUAÇÃO DA MIRA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANA - SETOR DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE GEOMÁTICA - FONE (041) 360-23-30-08

LABORATORIO DE AFERICAO - Resp: Prof. SILVIO R. DE FREITAS.- Ope: Prof. PEDRO LUIS FAGGION

CALIBRACAO DA MIRA DE INVAR WILD-No.5270B Temperatura : 20 graus Celsius Data :11/11/94

310- 10.012	351- 419.999	392- 829.983	433- 1239.996	474- 1650.005	515- 2059.979	556- 2469.987
311- 20.002	352- 430.002	393- 839.991	434- 1249.993	475- 1660.001	516- 2069.986	557- 2479.990
312- 30.001	353- 439.995	394- 849.981	435- 1259.999	476- 1670.007	517- 2079.990	558- 2490.003
313- 40.005	354- 449.997	395- 859.987	436- 1269.989	477- 1680.002	518- 2090.000	559- 2499.996
314- 50.003	355- 459.992	396- 869.989	437- 1279.997	478- 1689.997	519- 2099.996	560- 2510.001
315- 59.983	356- 470.008	397- 879.976	438- 1289.998	479- 1700.001	520- 2109.995	561- 2520.000
316- 70.000	357- 479.997	398- 889.992	439- 1299.996	480- 1710.009	521- 2119.997	562- 2530.000
317- 79.993	358- 490.003	399- 899.982	440- 1309.985	481- 1720.010	522- 2129.991	563- 2540.003
318- 89.995	359- 500.009	400- 909.990	441- 1319.982	482- 1730.000	523- 2139.986	564- 2550.001
319- 100.000	360- 509.998	401- 919.995	442- 1329.996	483- 1740.000	524- 2149.996	565- 2560.003
320- 109.994	361- 520.007	402- 929.987	443- 1340.004	484- 1750.008	525- 2159.985	566- 2569.992
321- 119.988	362- 529.995	403- 940.001	444- 1349.990	485- 1759.999	526- 2169.982	567- 2580.000
322- 129.993	363- 539.998	404- 949.985	445- 1360.003	486- 1770.002	527- 2179.991	568- 2590.016
323- 140.000	364- 549.990	405- 960.005	446- 1369.998	487- 1780.002	528- 2189.979	569- 2599.997
324- 149.990	365- 559.979	406- 969.994	447- 1379.997	488- 1789.999	529- 2199.992	570- 2610.011
325- 160.007	366- 569.984	407- 979.993	448- 1389.997	489- 1800.002	530- 2209.992	571- 2620.005
326- 170.000	367- 579.992	408- 989.994	449- 1399.984	490- 1810.002	531- 2219.990	572- 2630.005
327- 180.007	368- 589.986	409- 999.996	450- 1409.991	491- 1819.995	532- 2229.986	573- 2640.006
328- 189.990	369- 599.990	410- 1010.001	451- 1419.990	492- 1829.996	533- 2239.993	574- 2650.016
329- 200.005	370- 609.977	411- 1019.998	452- 1430.000	493- 1839.994	534- 2249.999	575- 2660.008
330- 209.996	371- 619.977	412- 1029.988	453- 1440.000	494- 1849.992	535- 2259.987	576- 2670.013
331- 219.993	372- 629.981	413- 1039.988	454- 1450.004	495- 1859.988	536- 2269.995	577- 2680.016
332- 230.003	373- 639.988	414- 1049.990	455- 1460.010	496- 1869.988	537- 2280.000	578- 2690.011
333- 240.000	374- 649.980	415- 1059.990	456- 1470.006	497- 1879.985	538- 2289.996	579- 2700.009
334- 249.993	375- 659.992	416- 1069.984	457- 1480.011	498- 1889.989	539- 2300.000	580- 2710.004
335- 260.004	376- 669.986	417- 1079.983	458- 1490.002	499- 1899.993	540- 2309.998	581- 2720.009
336- 270.004	377- 679.992	418- 1089.991	459- 1500.005	500- 1909.994	541- 2319.995	582- 2730.013
337- 279.994	378- 689.987	419- 1099.990	460- 1510.005	501- 1919.990	542- 2330.007	583- 2740.007
338- 290.000	379- 699.988	420- 1109.989	461- 1520.009	502- 1929.983	543- 2339.997	584- 2750.010
339- 299.990	380- 709.986	421- 1119.991	462- 1530.014	503- 1939.991	544- 2349.992	585- 2760.010
340- 309.996	381- 719.979	422- 1130.000	463- 1540.005	504- 1949.990	545- 2360.001	586- 2770.004
341- 319.999	382- 729.987	423- 1139.997	464- 1550.001	505- 1959.988	546- 2369.999	587- 2780.001
342- 330.007	383- 739.990	424- 1149.984	465- 1560.000	506- 1969.987	547- 2379.998	588- 2790.010
343- 340.001	384- 749.989	425- 1159.996	466- 1570.005	507- 1979.984	548- 2390.001	589- 2800.004
344- 350.006	385- 759.984	426- 1169.991	467- 1580.007	508- 1989.987	549- 2399.992	590- 2810.015
345- 360.003	386- 769.980	427- 1179.999	468- 1590.006	509- 1999.990	550- 2409.982	591- 2820.005
346- 369.998	387- 779.981	428- 1189.990	469- 1600.005	510- 2009.990	551- 2420.000	592- 2830.005
347- 380.006	388- 789.982	429- 1199.988	470- 1610.009	511- 2019.991	552- 2429.992	593- 2840.006
348- 390.002	389- 799.982	430- 1209.988	471- 1620.004	512- 2029.983	553- 2439.991	594- 2850.010
349- 399.990	390- 809.984	431- 1219.985	472- 1630.006	513- 2039.993	554- 2449.995	595- 2860.013
350- 410.004	391- 819.978	432- 1229.977	473- 1640.004	514- 2049.992	555- 2460.005	596- 2870.008

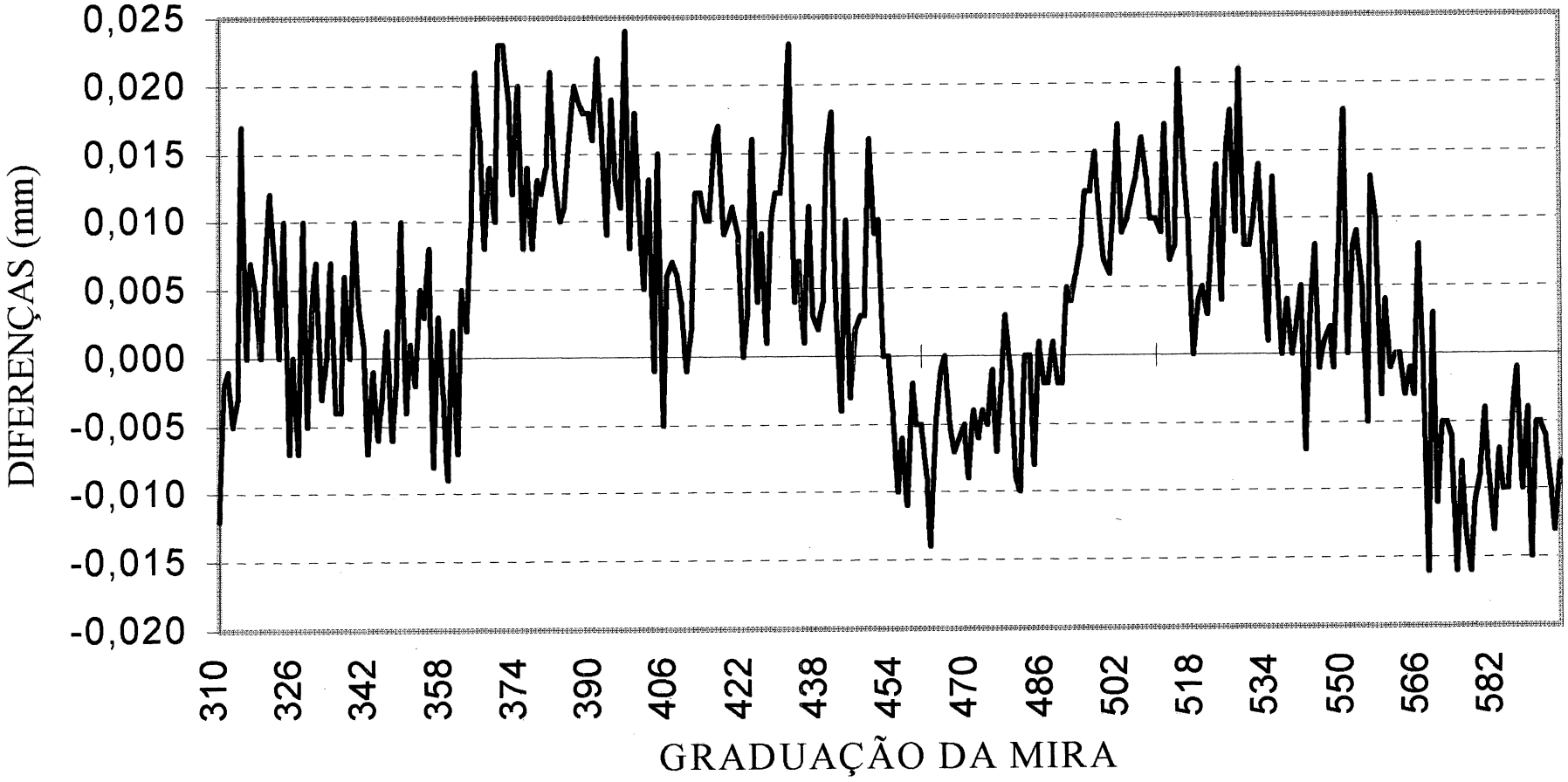
OBSERVACOES:

1. Os valores de aferição fornecidos são em (mm)
2. Desvio padrão médio : 0.011mm
3. A coluna da esquerda representa os traços numerados da mira.
4. Os valores de calibracao representam a diferença entre o centro dos traços da mira e o centro do primeiro traço medido.

--- ---

Resp: Prof. Silvio R. de Freitas Oper: Prof. Pedro Luis Faggion

AFERIÇÃO DA MIRA WILD 5270B (lado esquerdo)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANA - SETOR DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE GEOMÁTICA - FONE (041) 360-23-30-08

LABORATORIO DE AFERICAO - Resp: Prof. SILVIO R. DE FREITAS.- Ope: Prof. PEDRO LUIS FAGGION

CALIBRACAO DA MIRA DE INVAR WILD-No.3 Temperatura : 20 graus Celsius Data :11/11/94

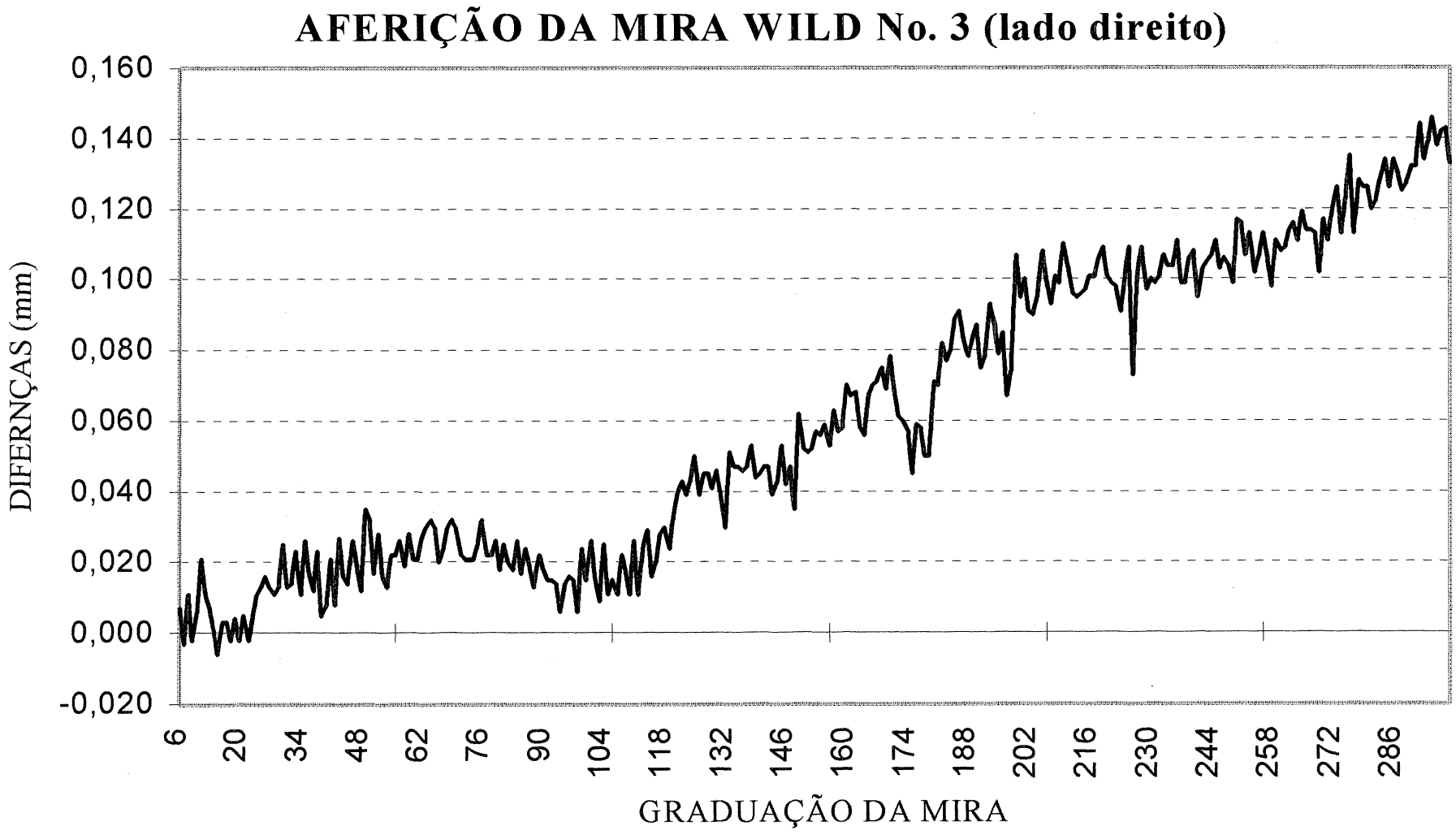
6- 9.993	48- 429.988	90- 849.982	132- 1269.970	174- 1689.943	216- 2109.899	258- 2529.902
7- 20.003	49- 439.965	91- 859.985	133- 1279.949	175- 1699.955	217- 2119.899	259- 2539.889
8- 29.989	50- 449.968	92- 869.985	134- 1289.953	176- 1709.941	218- 2129.894	260- 2549.892
9- 40.002	51- 459.983	93- 879.986	135- 1299.953	177- 1719.942	219- 2139.891	261- 2559.891
10- 49.994	52- 469.972	94- 889.994	136- 1309.954	178- 1729.950	220- 2149.899	262- 2569.886
11- 59.979	53- 479.984	95- 899.986	137- 1319.953	179- 1739.950	221- 2159.901	263- 2579.884
12- 69.989	54- 489.987	96- 909.984	138- 1329.947	180- 1749.929	222- 2169.902	264- 2589.889
13- 79.993	55- 499.978	97- 919.985	139- 1339.956	181- 1759.930	223- 2179.909	265- 2599.881
14- 89.999	56- 509.978	98- 929.994	140- 1349.955	182- 1769.918	224- 2189.900	266- 2609.886
15- 100.006	57- 519.974	99- 939.976	141- 1359.953	183- 1779.923	225- 2199.891	267- 2619.886
16- 109.997	58- 529.981	100- 949.985	142- 1369.953	184- 1789.920	226- 2209.927	268- 2629.887
17- 119.997	59- 539.972	101- 959.974	143- 1379.961	185- 1799.911	227- 2219.899	269- 2639.898
18- 130.002	60- 549.979	102- 969.985	144- 1389.957	186- 1809.909	228- 2229.891	270- 2649.883
19- 139.996	61- 559.979	103- 979.991	145- 1399.947	187- 1819.918	229- 2239.903	271- 2659.889
20- 150.002	62- 569.973	104- 989.975	146- 1409.958	188- 1829.922	230- 2249.900	272- 2669.879
21- 159.995	63- 579.970	105- 999.989	147- 1419.953	189- 1839.917	231- 2259.901	273- 2679.874
22- 170.002	64- 589.968	106- 1009.985	148- 1429.965	190- 1849.913	232- 2269.899	274- 2689.887
23- 179.996	65- 599.970	107- 1019.989	149- 1439.938	191- 1859.925	233- 2279.893	275- 2699.877
24- 189.989	66- 609.980	108- 1029.978	150- 1449.948	192- 1869.922	234- 2289.896	276- 2709.865
25- 199.987	67- 619.976	109- 1039.982	151- 1459.949	193- 1879.907	235- 2299.896	277- 2719.887
26- 209.984	68- 629.970	110- 1049.989	152- 1469.948	194- 1889.913	236- 2309.889	278- 2729.872
27- 219.987	69- 639.968	111- 1059.974	153- 1479.943	195- 1899.921	237- 2319.901	279- 2739.874
28- 229.989	70- 649.970	112- 1069.989	154- 1489.944	196- 1909.915	238- 2329.901	280- 2749.874
29- 239.987	71- 659.978	113- 1079.975	155- 1499.941	197- 1919.933	239- 2339.894	281- 2759.880
30- 249.975	72- 669.979	114- 1089.971	156- 1509.947	198- 1929.926	240- 2349.892	282- 2769.878
31- 259.987	73- 679.979	115- 1099.984	157- 1519.937	199- 1939.893	241- 2359.905	283- 2779.872
32- 269.986	74- 689.979	116- 1109.980	158- 1529.943	200- 1949.905	242- 2369.897	284- 2789.866
33- 279.977	75- 699.975	117- 1119.972	159- 1539.942	201- 1959.900	243- 2379.895	285- 2799.874
34- 289.989	76- 709.968	118- 1129.970	160- 1549.930	202- 1969.909	244- 2389.893	286- 2809.866
35- 299.974	77- 719.978	119- 1139.976	161- 1559.933	203- 1979.910	245- 2399.889	287- 2819.870
36- 309.983	78- 729.978	120- 1149.966	162- 1569.932	204- 1989.905	246- 2409.897	288- 2829.875
37- 319.988	79- 739.974	121- 1159.960	163- 1579.942	205- 1999.892	247- 2419.894	289- 2839.873
38- 329.977	80- 749.982	122- 1169.957	164- 1589.944	206- 2009.901	248- 2429.896	290- 2849.868
39- 339.995	81- 759.975	123- 1179.961	165- 1599.933	207- 2019.907	249- 2439.901	291- 2859.868
40- 349.992	82- 769.980	124- 1189.957	166- 1609.930	208- 2029.899	250- 2449.883	292- 2869.856
41- 359.979	83- 779.982	125- 1199.950	167- 1619.929	209- 2039.901	251- 2459.884	293- 2879.866
42- 369.992	84- 789.974	126- 1209.961	168- 1629.925	210- 2049.890	252- 2469.893	294- 2889.861
43- 379.973	85- 799.983	127- 1219.955	169- 1639.931	211- 2059.897	253- 2479.887	295- 2899.854
44- 389.984	86- 809.976	128- 1229.955	170- 1649.922	212- 2069.904	254- 2489.898	296- 2909.862
45- 399.986	87- 819.981	129- 1239.959	171- 1659.932	213- 2079.905	255- 2499.893	297- 2919.858
46- 409.974	88- 829.987	130- 1249.954	172- 1669.939	214- 2089.904	256- 2509.887	298- 2929.857
47- 419.981	89- 839.978	131- 1259.960	173- 1679.940	215- 2099.903	257- 2519.894	299- 2939.867

OBSERVACOES:

1. Os valores de aferição fornecidos são em (mm)
2. Desvio padrão médio : 0.008mm
3. A coluna da esquerda representa os traços numerados da mira.
4. Os valores de calibracao representam a diferença entre o centro dos traços da mira e o centro do primeiro traço medido.

--- ---

Resp: Prof. Silvio R. de Freitas Oper: Prof. Pedro Luis Faggion


AFERIÇÃO DA MIRA WILD No. 3 (lado direito)
DIFERNÇAS (mm)
0,160
0,140
0,120
0,100
0,080
0,060
0,040
0,020
0,000
-0,020
6
20
34
48
62
76
90
104
118
132
146
160
174
188
202
216
230
244
258
272
286
GRADUAÇÃO DA MIRA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANA - SETOR DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE GEOMÁTICA - FONE (041) 360-23-30-08

LABORATORIO DE AFERICAO - Resp: Prof. SILVIO R. DE FREITAS.- Ope: Prof. PEDRO LUIS FAGGION

CALIBRACAO DA MIRA DE INVAR WILD-No.3 Temperatura : 20 graus Celsius Data :11/11/94

310- 10.002	351- 419.973	392- 829.981	433- 1239.951	474- 1649.948	515- 2059.910	556- 2469.898
311- 19.994	352- 429.972	393- 839.983	434- 1249.958	475- 1659.941	516- 2069.903	557- 2479.901
312- 30.003	353- 439.977	394- 849.985	435- 1259.953	476- 1669.941	517- 2079.909	558- 2489.901
313- 40.000	354- 449.973	395- 859.982	436- 1269.958	477- 1679.935	518- 2089.897	559- 2499.903
314- 49.989	355- 459.969	396- 869.983	437- 1279.948	478- 1689.932	519- 2099.911	560- 2509.900
315- 60.010	356- 469.985	397- 879.989	438- 1289.953	479- 1699.936	520- 2109.913	561- 2519.908
316- 70.007	357- 479.972	398- 889.986	439- 1299.957	480- 1709.936	521- 2119.895	562- 2529.901
317- 80.008	358- 489.977	399- 899.992	440- 1309.951	481- 1719.927	522- 2129.906	563- 2539.914
318- 90.005	359- 499.984	400- 909.989	441- 1319.945	482- 1729.939	523- 2139.895	564- 2549.890
319- 100.010	360- 509.980	401- 919.987	442- 1329.953	483- 1739.927	524- 2149.908	565- 2559.905
320- 110.019	361- 519.978	402- 929.979	443- 1339.951	484- 1749.925	525- 2159.927	566- 2569.906
321- 120.011	362- 529.978	403- 939.977	444- 1349.948	485- 1759.933	526- 2169.904	567- 2579.896
322- 130.005	363- 539.974	404- 949.974	445- 1359.956	486- 1769.929	527- 2179.916	568- 2589.896
323- 140.003	364- 549.992	405- 959.968	446- 1369.958	487- 1779.919	528- 2189.907	569- 2599.896
324- 149.991	365- 559.987	406- 969.961	447- 1379.956	488- 1789.914	529- 2199.922	570- 2609.896
325- 159.995	366- 569.988	407- 979.951	448- 1389.956	489- 1799.929	530- 2209.902	571- 2619.898
326- 169.994	367- 579.970	408- 989.959	449- 1399.959	490- 1809.917	531- 2219.909	572- 2629.888
327- 179.988	368- 589.974	409- 999.971	450- 1409.950	491- 1819.917	532- 2229.911	573- 2639.904
328- 189.996	369- 599.986	410- 1009.964	451- 1419.956	492- 1829.903	533- 2239.917	574- 2649.886
329- 199.993	370- 609.982	411- 1019.957	452- 1429.947	493- 1839.923	534- 2249.920	575- 2659.892
330- 209.984	371- 619.982	412- 1029.969	453- 1439.957	494- 1849.924	535- 2259.916	576- 2669.890
331- 219.989	372- 629.979	413- 1039.983	454- 1449.955	495- 1859.906	536- 2269.913	577- 2679.889
332- 229.987	373- 639.986	414- 1049.979	455- 1459.953	496- 1869.911	537- 2279.909	578- 2689.886
333- 239.992	374- 649.975	415- 1059.965	456- 1469.955	497- 1879.914	538- 2289.910	579- 2699.893
334- 249.987	375- 659.976	416- 1069.972	457- 1479.949	498- 1889.903	539- 2299.909	580- 2709.882
335- 259.983	376- 669.982	417- 1079.959	458- 1489.942	499- 1899.914	540- 2309.912	581- 2719.881
336- 269.982	377- 679.982	418- 1089.973	459- 1499.951	500- 1909.907	541- 2319.909	582- 2729.894
337- 279.987	378- 689.974	419- 1099.960	460- 1509.946	501- 1919.910	542- 2329.906	583- 2739.892
338- 289.983	379- 699.976	420- 1109.970	461- 1519.950	502- 1929.897	543- 2339.906	584- 2749.876
339- 299.977	380- 709.987	421- 1119.970	462- 1529.941	503- 1939.916	544- 2349.911	585- 2759.874
340- 309.989	381- 719.984	422- 1129.970	463- 1539.949	504- 1949.898	545- 2359.917	586- 2769.879
341- 319.982	382- 729.984	423- 1139.959	464- 1549.939	505- 1959.906	546- 2369.913	587- 2779.881
342- 329.983	383- 739.982	424- 1149.961	465- 1559.949	506- 1969.904	547- 2379.899	588- 2789.876
343- 339.977	384- 749.983	425- 1159.962	466- 1569.949	507- 1979.903	548- 2389.900	589- 2799.884
344- 349.988	385- 759.967	426- 1169.950	467- 1579.938	508- 1989.910	549- 2399.896	590- 2809.877
345- 359.993	386- 769.984	427- 1179.964	468- 1589.940	509- 1999.904	550- 2409.901	591- 2819.873
346- 369.981	387- 779.977	428- 1189.941	469- 1599.936	510- 2009.898	551- 2419.912	592- 2829.862
347- 379.983	388- 789.983	429- 1199.951	470- 1609.933	511- 2019.896	552- 2429.891	593- 2839.874
348- 389.983	389- 799.985	430- 1209.951	471- 1619.937	512- 2029.903	553- 2439.898	594- 2849.865
349- 399.982	390- 809.974	431- 1219.958	472- 1629.940	513- 2039.906	554- 2449.892	595- 2859.862
350- 409.982	391- 819.974	432- 1229.958	473- 1639.932	514- 2049.908	555- 2459.900	596- 2869.867

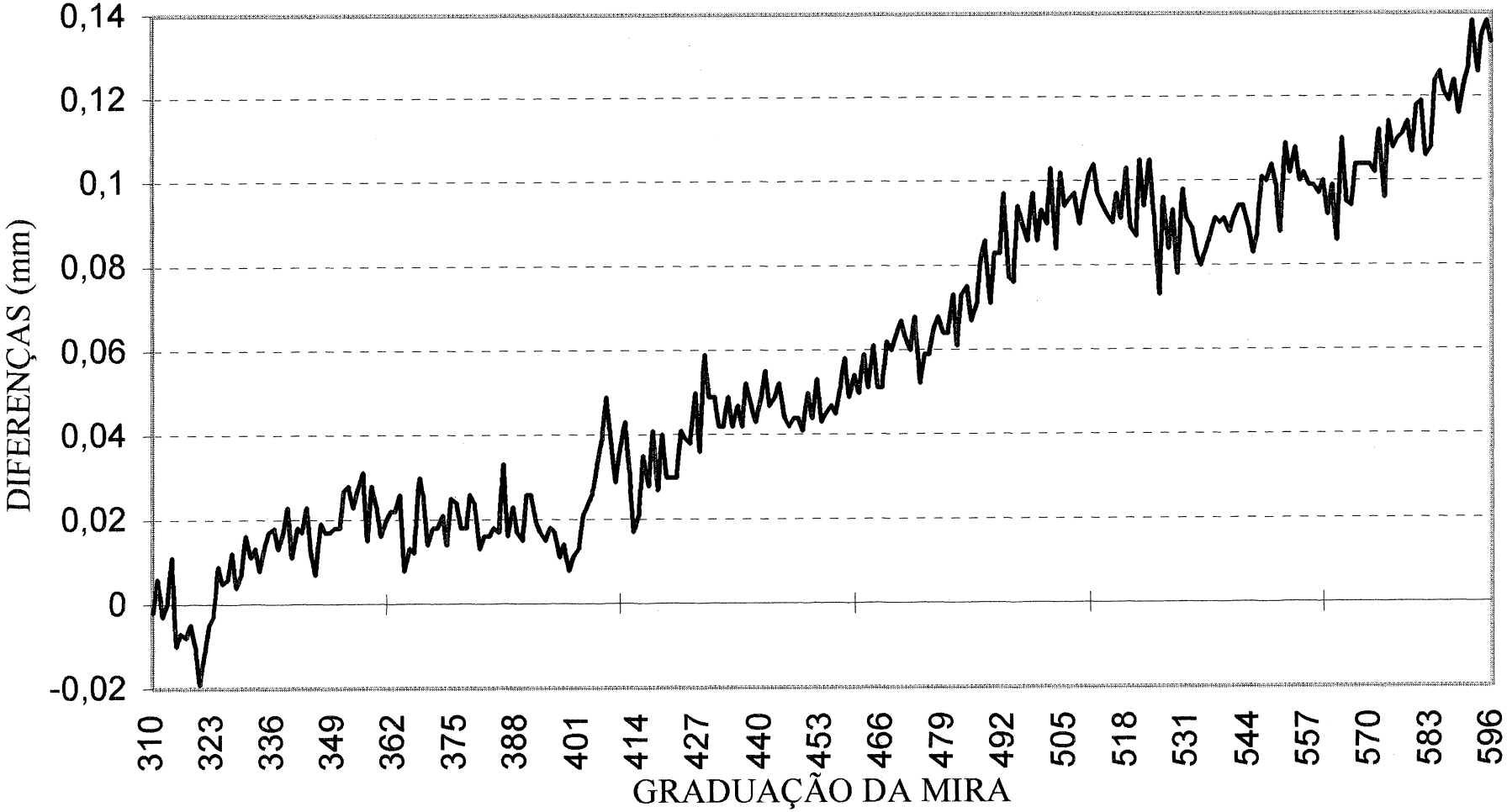
OBSERVACOES:

1. Os valores de aferição fornecidos são em (mm)
2. Desvio padrão médio : 0.007mm
3. A coluna da esquerda representa os traços numerados da mira.
4. Os valores de calibracao representam a diferença entre o centro dos traços da mira e o centro do primeiro traço medido.

---------- ----------

Resp: Prof. Silvio R. de Freitas Oper: Prof. Pedro Luis Faggion

AFERIÇÃO DA MIRA WILD No. 3 (lado esquerdo)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANA - SETOR DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE GEOMÁTICA - FONE (041) 360-23-30-08

LABORATORIO DE AFERICAO - Resp: Prof. SILVIO R. DE FREITAS.- Ope: Prof. PEDRO LUIS FAGGION

CALIBRACAO DA MIRA DE INVAR WILD-No.4 Temperatura : 20 graus Celsius Data :11/11/94

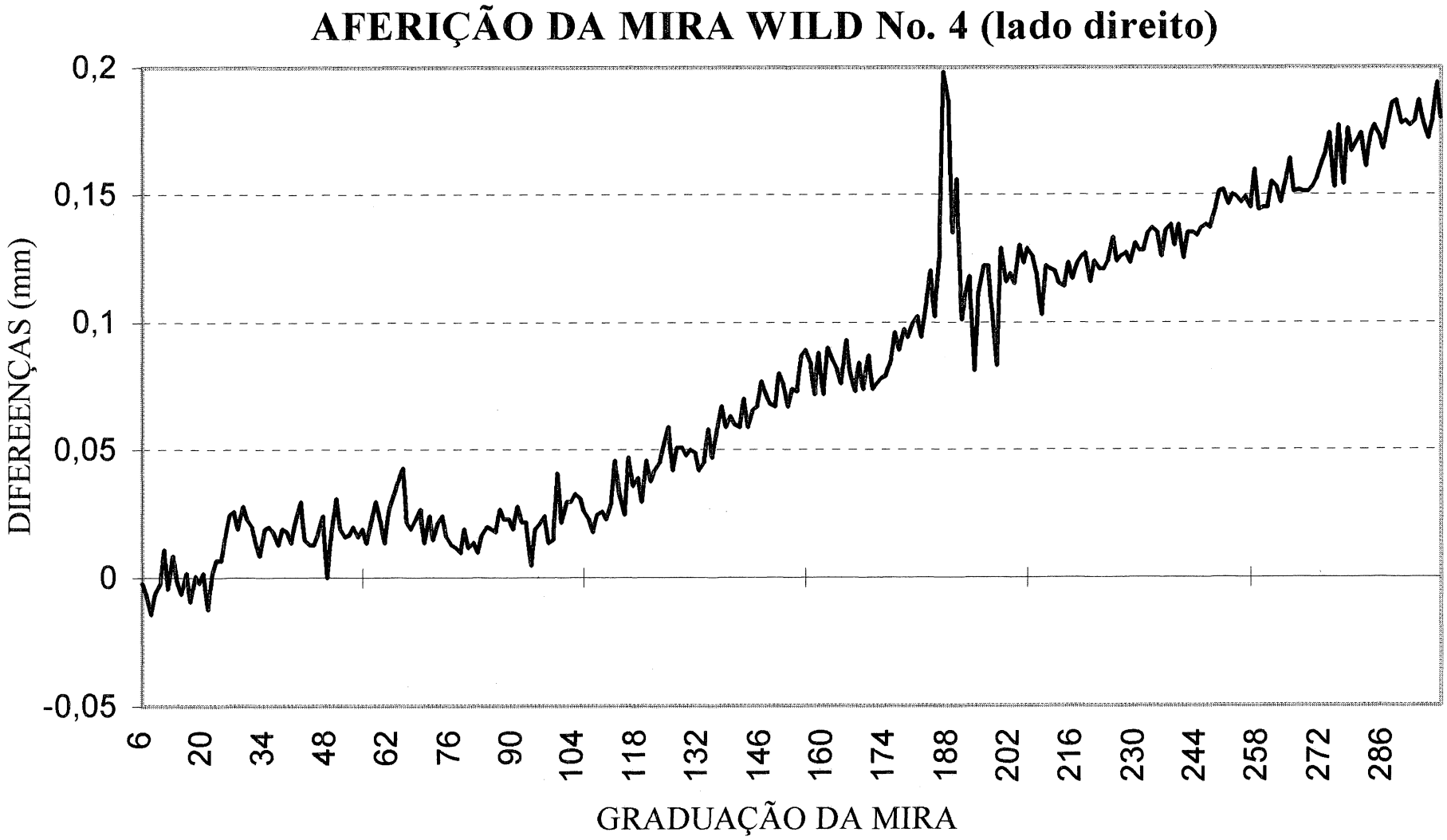
6- 10.002	48- 430.000	90- 849.981	132- 1269.958	174- 1689.921	216- 2109.883	258- 2529.856
7- 20.006	49- 439.984	91- 859.972	133- 1279.955	175- 1699.915	217- 2119.877	259- 2539.855
8- 30.014	50- 449.969	92- 869.978	134- 1289.942	176- 1709.904	218- 2129.874	260- 2549.855
9- 40.006	51- 459.981	93- 879.978	135- 1299.953	177- 1719.911	219- 2139.873	261- 2559.845
10- 50.002	52- 469.984	94- 889.995	136- 1309.941	178- 1729.903	220- 2149.884	262- 2569.847
11- 59.989	53- 479.983	95- 899.981	137- 1319.933	179- 1739.906	221- 2159.876	263- 2579.853
12- 70.004	54- 489.980	96- 909.979	138- 1329.941	180- 1749.900	222- 2169.879	264- 2589.844
13- 79.991	55- 499.984	97- 919.976	139- 1339.937	181- 1759.898	223- 2179.879	265- 2599.836
14- 90.002	56- 509.981	98- 929.986	140- 1349.940	182- 1769.906	224- 2189.876	266- 2609.849
15- 100.006	57- 519.986	99- 939.985	141- 1359.941	183- 1779.893	225- 2199.867	267- 2619.848
16- 109.998	58- 529.977	100- 949.959	142- 1369.930	184- 1789.880	226- 2209.876	268- 2629.849
17- 120.009	59- 539.970	101- 959.978	143- 1379.941	185- 1799.898	227- 2219.874	269- 2639.849
18- 129.999	60- 549.978	102- 969.970	144- 1389.934	186- 1809.875	228- 2229.873	270- 2649.847
19- 140.002	61- 559.986	103- 979.970	145- 1399.933	187- 1819.802	229- 2239.877	271- 2659.844
20- 149.998	62- 569.973	104- 989.967	146- 1409.923	188- 1829.813	230- 2249.869	272- 2669.838
21- 160.012	63- 579.967	105- 999.969	147- 1419.928	189- 1839.865	231- 2259.872	273- 2679.834
22- 169.998	64- 589.962	106- 1009.974	148- 1429.932	190- 1849.844	232- 2269.872	274- 2689.826
23- 179.993	65- 599.957	107- 1019.977	149- 1439.933	191- 1859.899	233- 2279.865	275- 2699.847
24- 189.993	66- 609.978	108- 1029.982	150- 1449.920	192- 1869.888	234- 2289.863	276- 2709.823
25- 199.984	67- 619.981	109- 1039.975	151- 1459.924	193- 1879.882	235- 2299.865	277- 2719.846
26- 209.975	68- 629.977	110- 1049.974	152- 1469.933	194- 1889.919	236- 2309.874	278- 2729.824
27- 219.974	69- 639.973	111- 1059.977	153- 1479.926	195- 1899.888	237- 2319.864	279- 2739.833
28- 229.981	70- 649.986	112- 1069.971	154- 1489.927	196- 1909.878	238- 2329.862	280- 2749.829
29- 239.972	71- 659.976	113- 1079.954	155- 1499.913	197- 1919.878	239- 2339.870	281- 2759.826
30- 249.977	72- 669.985	114- 1089.967	156- 1509.911	198- 1929.896	240- 2349.862	282- 2769.839
31- 259.980	73- 679.978	115- 1099.975	157- 1519.916	199- 1939.917	241- 2359.875	283- 2779.827
32- 269.986	74- 689.976	116- 1109.953	158- 1529.928	200- 1949.871	242- 2369.865	284- 2789.823
33- 279.991	75- 699.984	117- 1119.964	159- 1539.912	201- 1959.884	243- 2379.865	285- 2799.827
34- 289.981	76- 709.987	118- 1129.961	160- 1549.928	202- 1969.881	244- 2389.866	286- 2809.832
35- 299.980	77- 719.988	119- 1139.970	161- 1559.910	203- 1979.885	245- 2399.863	287- 2819.824
36- 309.982	78- 729.990	120- 1149.954	162- 1569.915	204- 1989.870	246- 2409.862	288- 2829.814
37- 319.987	79- 739.981	121- 1159.962	163- 1579.918	205- 1999.877	247- 2419.863	289- 2839.813
38- 329.981	80- 749.988	122- 1169.958	164- 1589.924	206- 2009.871	248- 2429.856	290- 2849.822
39- 339.982	81- 759.986	123- 1179.955	165- 1599.907	207- 2019.874	249- 2439.849	291- 2859.821
40- 349.986	82- 769.990	124- 1189.948	166- 1609.919	208- 2029.881	250- 2449.848	292- 2869.823
41- 359.978	83- 779.983	125- 1199.941	167- 1619.927	209- 2039.897	251- 2459.854	293- 2879.821
42- 369.970	84- 789.980	126- 1209.958	168- 1629.916	210- 2049.878	252- 2469.850	294- 2889.813
43- 379.985	85- 799.981	127- 1219.949	169- 1639.926	211- 2059.879	253- 2479.851	295- 2899.821
44- 389.987	86- 809.982	128- 1229.949	170- 1649.913	212- 2069.880	254- 2489.853	296- 2909.828
45- 399.987	87- 819.973	129- 1239.952	171- 1659.926	213- 2079.885	255- 2499.851	297- 2919.821
46- 409.983	88- 829.977	130- 1249.950	172- 1669.924	214- 2089.886	256- 2509.855	298- 2929.806
47- 419.976	89- 839.977	131- 1259.951	173- 1679.922	215- 2099.877	257- 2519.840	299- 2939.820

OBSERVACOES:

1. Os valores de aferição fornecidos são em (mm)
2. Desvio padrão médio : 0.011mm
3. A coluna da esquerda representa os traços numerados da mira.
4. Os valores de calibracao representam a diferença entre o centro dos traços da mira e o centro do primeiro traço medido.

--- ---

Resp: Prof. Silvio R. de Freitas Oper: Prof. Pedro Luis Faggion


AFERIÇÃO DA MIRA WILD No. 4 (lado direito)
DIFEREENÇAS (mm)
0,2
0,15
0,1
0,05
0
-0,05
6
20
34
48
62
76
90
104
118
132
146
160
174
188
202
216
230
244
258
272
286
GRADUAÇÃO DA MIRA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANA - SETOR DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE GEOMÁTICA - FONE (041) 360-23-30-08

LABORATORIO DE AFERICAO - Resp: Prof. SILVIO R. DE FREITAS.- Ope: Prof. PEDRO LUIS FAGGION

CALIBRACAO DA MIRA DE INVAR WILD-No.4 Temperatura : 20 graus Celsius Data :11/11/94

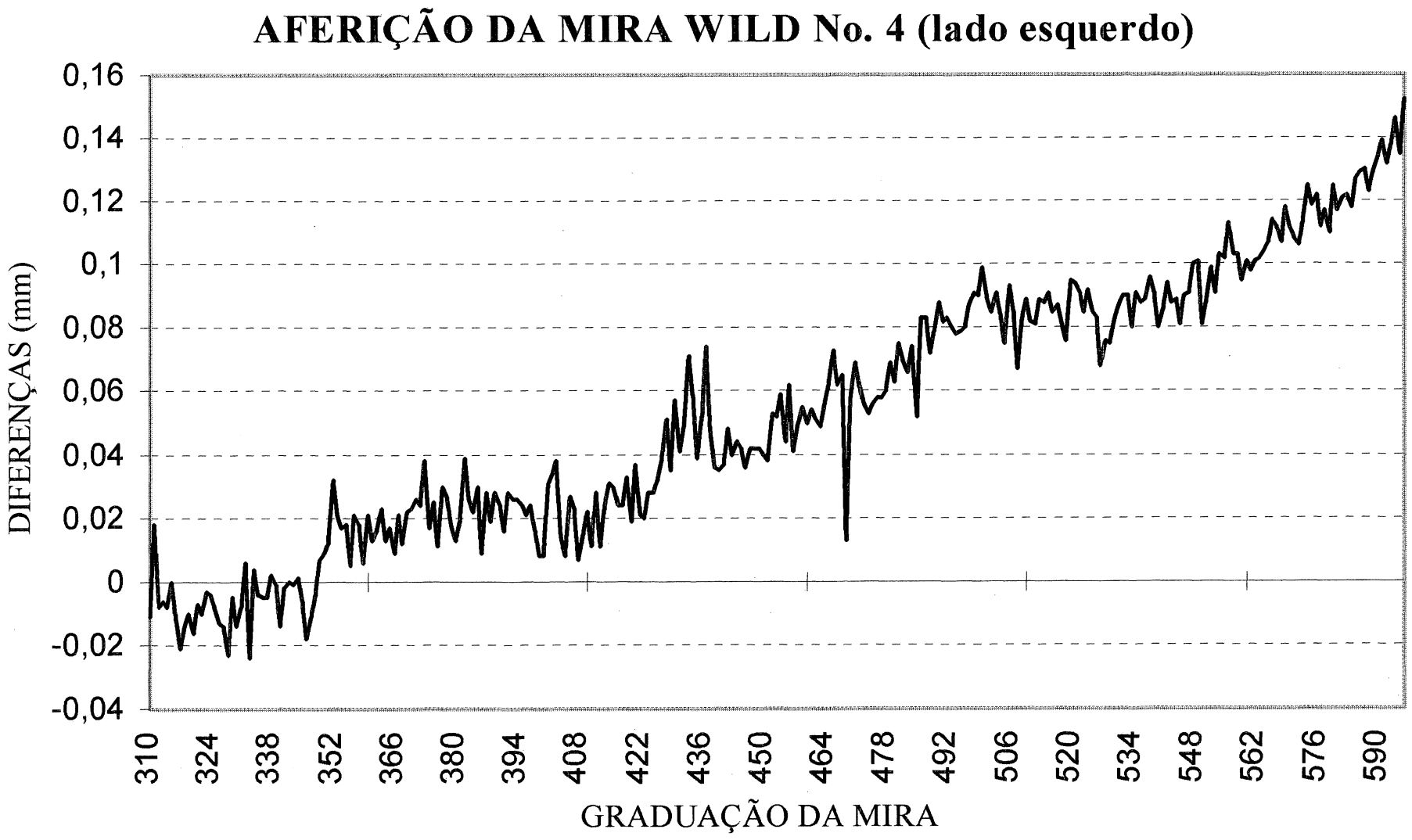
310- 10.011	351- 419.988	392- 829.972	433- 1239.929	474- 1649.947	515- 2059.909	556- 2469.887
311- 19.982	352- 429.968	393- 839.974	434- 1249.942	475- 1659.944	516- 2069.915	557- 2479.897
312- 30.008	353- 439.979	394- 849.974	435- 1259.961	476- 1669.942	517- 2079.913	558- 2489.897
313- 40.006	354- 449.983	395- 859.976	436- 1269.947	477- 1679.942	518- 2089.919	559- 2499.905
314- 50.008	355- 459.982	396- 869.979	437- 1279.926	478- 1689.940	519- 2099.924	560- 2509.899
315- 60.000	356- 469.995	397- 879.976	438- 1289.953	479- 1699.931	520- 2109.905	561- 2519.902
316- 70.010	357- 479.979	398- 889.984	439- 1299.964	480- 1709.937	521- 2119.906	562- 2529.899
317- 80.021	358- 489.982	399- 899.992	440- 1309.965	481- 1719.925	522- 2129.909	563- 2539.898
318- 90.014	359- 499.994	400- 909.992	441- 1319.963	482- 1729.931	523- 2139.915	564- 2549.896
319- 100.010	360- 509.979	401- 919.969	442- 1329.952	483- 1739.934	524- 2149.908	565- 2559.893
320- 110.016	361- 519.987	402- 929.966	443- 1339.960	484- 1749.926	525- 2159.915	566- 2569.886
321- 120.007	362- 529.984	403- 939.962	444- 1349.956	485- 1759.948	526- 2169.917	567- 2579.888
322- 130.010	363- 539.977	404- 949.986	445- 1359.958	486- 1769.917	527- 2179.932	568- 2589.893
323- 140.003	364- 549.987	405- 959.992	446- 1369.964	487- 1779.917	528- 2189.924	569- 2599.882
324- 150.004	365- 559.983	406- 969.973	447- 1379.958	488- 1789.928	529- 2199.925	570- 2609.888
325- 160.009	366- 569.991	407- 979.977	448- 1389.958	489- 1799.921	530- 2209.917	571- 2619.892
326- 170.013	367- 579.979	408- 989.993	449- 1399.958	490- 1809.912	531- 2219.913	572- 2629.894
327- 180.014	368- 589.988	409- 999.985	450- 1409.960	491- 1819.918	532- 2229.910	573- 2639.887
328- 190.023	369- 599.978	410- 1009.978	451- 1419.962	492- 1829.917	533- 2239.910	574- 2649.875
329- 200.005	370- 609.977	411- 1019.989	452- 1429.947	493- 1839.920	534- 2249.920	575- 2659.881
330- 210.014	371- 619.974	412- 1029.972	453- 1439.948	494- 1849.922	535- 2259.909	576- 2669.878
331- 220.008	372- 629.976	413- 1039.989	454- 1449.941	495- 1859.921	536- 2269.912	577- 2679.888
332- 229.994	373- 639.962	414- 1049.975	455- 1459.956	496- 1869.920	537- 2279.911	578- 2689.883
333- 240.024	374- 649.983	415- 1059.969	456- 1469.938	497- 1879.913	538- 2289.904	579- 2699.890
334- 249.996	375- 659.975	416- 1069.970	457- 1479.959	498- 1889.909	539- 2299.909	580- 2709.875
335- 260.004	376- 669.989	417- 1079.976	458- 1489.950	499- 1899.910	540- 2309.920	581- 2719.883
336- 270.005	377- 679.970	418- 1089.976	459- 1499.945	500- 1909.901	541- 2319.914	582- 2729.879
337- 280.005	378- 689.973	419- 1099.967	460- 1509.950	501- 1919.911	542- 2329.906	583- 2739.878
338- 289.998	379- 699.983	420- 1109.981	461- 1519.946	502- 1929.915	543- 2339.912	584- 2749.882
339- 300.001	380- 709.987	421- 1119.963	462- 1529.949	503- 1939.909	544- 2349.911	585- 2759.873
340- 310.014	381- 719.981	422- 1129.979	463- 1539.951	504- 1949.916	545- 2359.919	586- 2769.871
341- 320.002	382- 729.961	423- 1139.980	464- 1549.944	505- 1959.925	546- 2369.910	587- 2779.870
342- 330.000	383- 739.974	424- 1149.972	465- 1559.938	506- 1969.907	547- 2379.909	588- 2789.877
343- 340.001	384- 749.978	425- 1159.972	466- 1569.927	507- 1979.915	548- 2389.900	589- 2799.871
344- 349.999	385- 759.970	426- 1169.968	467- 1579.938	508- 1989.933	549- 2399.899	590- 2809.866
345- 360.006	386- 769.991	427- 1179.962	468- 1589.935	509- 1999.917	550- 2409.919	591- 2819.861
346- 370.018	387- 779.972	428- 1189.949	469- 1599.987	510- 2009.911	551- 2419.912	592- 2829.868
347- 380.011	388- 789.981	429- 1199.965	470- 1609.942	511- 2019.918	552- 2429.901	593- 2839.862
348- 390.004	389- 799.972	430- 1209.943	471- 1619.931	512- 2029.919	553- 2439.909	594- 2849.854
349- 399.993	390- 809.976	431- 1219.959	472- 1629.939	513- 2039.911	554- 2449.897	595- 2859.865
350- 409.991	391- 819.984	432- 1229.951	473- 1639.944	514- 2049.912	555- 2459.898	596- 2869.848

OBSERVACOES:

1. Os valores de aferição fornecidos são em (mm)
2. Desvio padrão médio : 0.011mm
3. A coluna da esquerda representa os traços numerados da mira.
4. Os valores de calibracao representam a diferença entre o centro dos traços da mira e o centro do primeiro traço medido.

--- ---

Resp: Prof. Silvio R. de Freitas Oper: Prof. Pedro Luis Faggion


AFERIÇÃO DA MIRA WILD No. 4 (lado esquerdo)
DIFERENÇAS (mm)
0,16
0,14
0,12
0,1
0,08
0,06
0,04
0,02
0
-0,02
-0,04
310
324
338
352
366
380
394
408
422
436
450
464
478
492
506
520
534
548
562
576
590
GRADUAÇÃO DA MIRA

ANEXO III EXEMPLO DA APLICAÇÃO DO CERTIFICADO DAS MVI

A seguir demonstra-se passo a passo a aplicação do certificado das MVI. O lance utilizado foi RN-22/A, da linha nivelada RN-22/RN-23, conforme Figura 34.

FIGURA 34 - CADERNETA AUTOMATIZADA

LINHA RN-22/RN-23

MIRAS 5270 (A/B) NÍVEL no 86110 DATA: 23/08/95 Hi: 10h 25min
MIRA INÍCIO: A Hf: 11h 15min

Estação	Dist.	Fios Estadim. RÉ	Fios Estadim. VANTE	Dist.	Fio Nivelador(cm) RÉ	Fio Nivelador(cm) VANTE	Desnível R - V (cm)	Desnível Acumulado	Altitude (m)	Distância acumulada	Fio Nivelador RÉ	Fio Nivelador VANTE	Desnível R - V
RN-22		254,6	104,2		262,679	112,906	149,773				257,679	107,907	149,772
	14,6	269,4	119,8	15,4	564,235	414,460	149,775			30,0	255,233	105,459	149,774
A					301,556	301,554	149,774	149,774	#VALOR!		FALSO	FALSO	149,773
A		200,2	178,5		209,225	187,149	22,076	149,774	#VALOR!		204,226	182,149	22,077
	17,4	217,8	195,5	16,8	510,778	488,701	22,077			64,2	201,777	179,700	22,077
B					301,553	301,552	22,077	171,851	#VALOR!		FALSO	FALSO	22,077
B		187,0	74,5		191,495	79,659	111,836	171,851	#VALOR!		186,494	74,659	111,835
	7,8	195,0	83,6	8,9	493,051	381,218	111,833			80,9	184,049	72,216	111,833
C					301,556	301,559	111,835	283,685	#VALOR!		FALSO	FALSO	111,834
C		257,0	77,8		261,801	82,102	179,699	283,685	#VALOR!		256,802	77,103	179,699
	7,8	265,0	86,2	8,2	563,354	383,654	179,700			96,9	254,354	74,653	179,701
D					301,553	301,552	179,700	463,385	#VALOR!		FALSO	FALSO	179,700
D		270,0	108,8		274,442	113,891	160,551	463,386	#VALOR!		269,443	108,891	160,552
	7,8	278,0	117,6	8,6	575,995	415,442	160,553			113,3	266,993	106,441	160,552
E					301,553	301,551	160,552	623,937	#VALOR!		FALSO	FALSO	160,552
E		176,6	179,2		186,864	189,122	-2,258	623,937	#VALOR!		181,865	184,121	-2,256
	18,6	195,4	198,8	19,4	488,421	490,678	-2,257			151,3	179,421	181,676	-2,255
RN-23					301,557	301,556	-2,258	621,679	#VALOR!		FALSO	FALSO	-2,256

Valores lidos na mira A

Valores lidos na mira B

Valores calculados com o certificado das MVI

Valores calculados

A partir da leitura do fio nivelador da mira de ré, neste caso mira A (lado direito), como sendo 262,679 cm, isola-se a parte inteira da leitura.

Através do valor 262, localiza-se no certificado da mira A, sua correção correspondente.

$$262 \Rightarrow 2569{,}999 \text{ mm} \Rightarrow 256{,}9999 \text{ cm}$$

Não se esquecer da observação 4, constante do certificado, lembrando que os valores calibrados representam a diferença entre o centro dos traços da mira e o centro do primeiro traço medido, daí a diferença entre o valor lido e o valor do certificado.

Soma-se a este valor a parte fracionária da leitura

$$256{,}9999 \text{ cm} + 0{,}679\text{cm} = 257{,}6789 \text{ cm} \qquad \text{(III.1)}$$

Repete-se o mesmo procedimento para a leitura do fio nivelador da mira de ré, mira A (lado esquerdo), sendo este valor igual a 564,235 cm.

Isolando-se a parte inteira, e indo ao certificado da mira A, tem-se:

564 cm $\Rightarrow$ 2549,983 mm $\Rightarrow$ 254,9983 cm

Adicionando a parte fracionária:

254,9983 cm + 0,235 cm = 255,2333 cm (III.2)

Aplicando-se a mesma seqüência para as leituras do fio nivelador de vante, neste caso mira B, tem-se:

leitura da direita: 112,906 cm

Do certificado, tem-se para o valor:

112 $\Rightarrow$ 1070,011 mm $\Rightarrow$107,0011 cm

Somando-se a parte fracionária da leitura:

107,0011 cm + 0,906 cm = 107,9071 cm (III.3)

Leitura da esquerda: 414,460 cm

Do certificado, tem-se para o valor:

414 $\Rightarrow$ 1049,990 mm $\Rightarrow$104,9990 cm

Somando a parte fracionária da leitura:

104,9990 cm + 0,460 cm = 105,4590 cm (III.4)

Obtém-se o desnível, do lado direito das miras de ré, através da diferença entre as equações III.1 e III.3:

257,6789 cm -107,9071 cm = 149,7718cm (III.5)

e o desnível do lado esquerdo das miras, através da diferença das equações III.2 e III.4:

255,2333 cm - 105,4590 cm = 149,7743 cm (III.6)

Aplicando-se a média dos desníveis (lado direito e esquerdo), tem-se:

$$\frac{(\text{III.5}+\text{III.6})}{2} \qquad \text{(III.7)}$$

resultando em:

$$\frac{(149{,}7718+149{,}7743)}{2} = 149{,}7731 \text{ cm} \approx 149{,}773 \qquad \text{(III.8)}$$

Todos os valores obtidos nas oito equações estão calculados na planilha automatizada (Figura 34), considerando-se apenas três casas decimais.

No ANEXO V encontram-se dois exemplos de linhas niveladas na rede científica da UFPR , preenchidos na caderneta automatizada.

ANEXO IV ENTRADA DOS DADOS DO CERTIFICADO NA CADERNETA AUTOMATIZADA

Quando o LAIG implantou o sistema de aferição das MVI, criou-se um programa em linguagem Fortran, que gera três arquivos de saída de dados. Um deles corresponde à diferença do valor nominal e o valor de aferição. Os outros dois contêm os certificados das miras (lado direito e lado esquerdo das graduações lidas) conforme visto no anexo II.

A formatação destes dois arquivos acarreta para planilha Excel, alguns conflitos como por exemplo o não reconhecimento do ponto decimal.

Uma das opções seria modificar a saída de dados do certificado. Porém, como o LAIG já vinha fornecendo estes certificados (arquivos) para algumas instituições, procurou-se resolver o problema na própria planilha Excel, sem modificações dos arquivos dos certificados, de modo que as instituições que já possuem suas miras aferidas pelo LAIG, possam fazer uso dos certificados emitidos anteriormente.

Para um completo entendimento dos procedimentos descritos a seguir, faz-se necessário um mínimo de conhecimento por parte do leitor, do uso de planilhas Excel, tais como:

coluna: designada pelas letras do alfabeto (A, B, C,..);

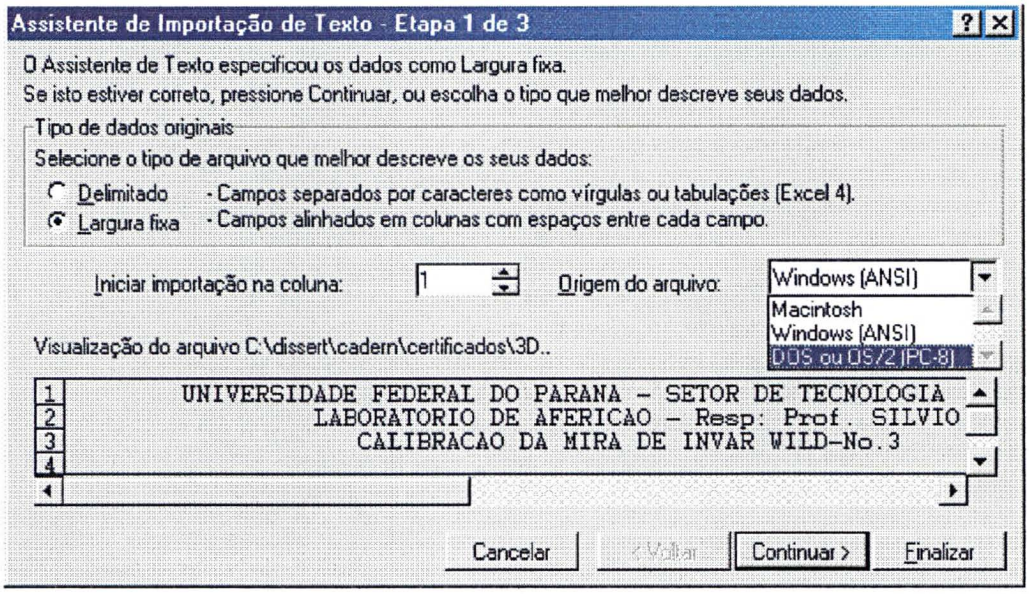
linha: designada pelos números arábicos (1, 2, 3, 4,....)

célula: cruzamento entre linha e coluna (A1, A2, A3, B1, B2, B3, ...)

Como já mencionado anteriormente, uma das pastas deve ser preparada para receber os dados do certificado das MVI. É mostrado a seguir o procedimento a adotar-se:

1) Na pasta 1, executa-se o comando ARQUIVO, ABRIR, selecionando-se o nome do arquivo que contém os dados da mira A lado direito.

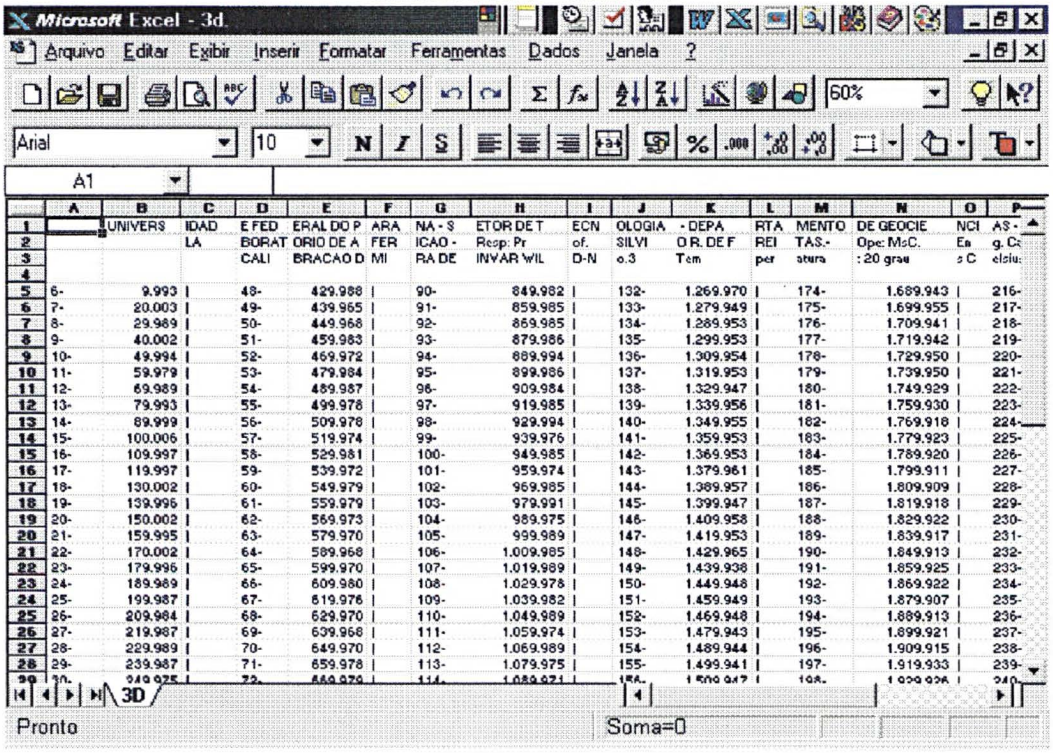
FIGURA 35 - TELA 1



Na janela de Origem do arquivo, opta-se por: **DOS ou OS/2(PC-8)**, e **Continuar**

2) Nas duas telas seguintes, basta acionar o botão **Continuar**. Deste modo os dados do certificado ficam com o "lay-out" da tela 2 (Figura 36)

FIGURA 36 - TELA 2



A planilha, ainda encontra-se inapropriada para uso, pois o hífen que acompanha os valores dos traços numerados da mira não são úteis e os números, apesar de visualmente aparecerem com ponto decimal, não são reconhecidos pelo Excel.

3) Exclui-se as quatro primeiras linhas, que contêm texto identificadores da instituição, desnecessários na aplicação das correções. Analogamente exclui-se também as últimas linhas que contêm informações sobre como interpretar o certificado.

4) Organiza-se todos os valores em uma seqüência de ordem crescente, em duas colunas. A primeira contém os valores dos traços numerados da mira (6 a 299) e a segunda coluna, os valores correspondentes a estes, vindas do certificado das MVI.

5) Procede-se do mesmo modo para o arquivo que contém os dados da mira A, lado esquerdo. (seqüência 1 a 4)

6) Os novos dados deste arquivo são colocados também em ordem crescente logo abaixo do último valor obtido da mira A lado direito.

7) Repete-se os procedimentos de 1 a 6, para a mira B (lado direito e esquerdo). A tela 3 (figura 37) ilustra como os dados ficam alinhados.

8) Marca-se as colunas A e E que contêm os valores com hífens. Acionar o menu **Editar**, **Localizar**. A partir da tela 4 (Figura 38), no campo localizar **digitar** o hífen e acionar o botão **Substituir.**

Como não se quer colocar nenhum elemento novo, na tela seguinte é apenas necessário digitar "espaço" no campo **Substituir por** e acionar o botão **Substituir todas**.

Para solucionar o problema do ponto decimal, cria-se uma coluna na qual os valores aferidos são divididos por 10000. Com isto já se faz também a transformação da unidade de mm para cm.

FIGURA 37 - TELA 3

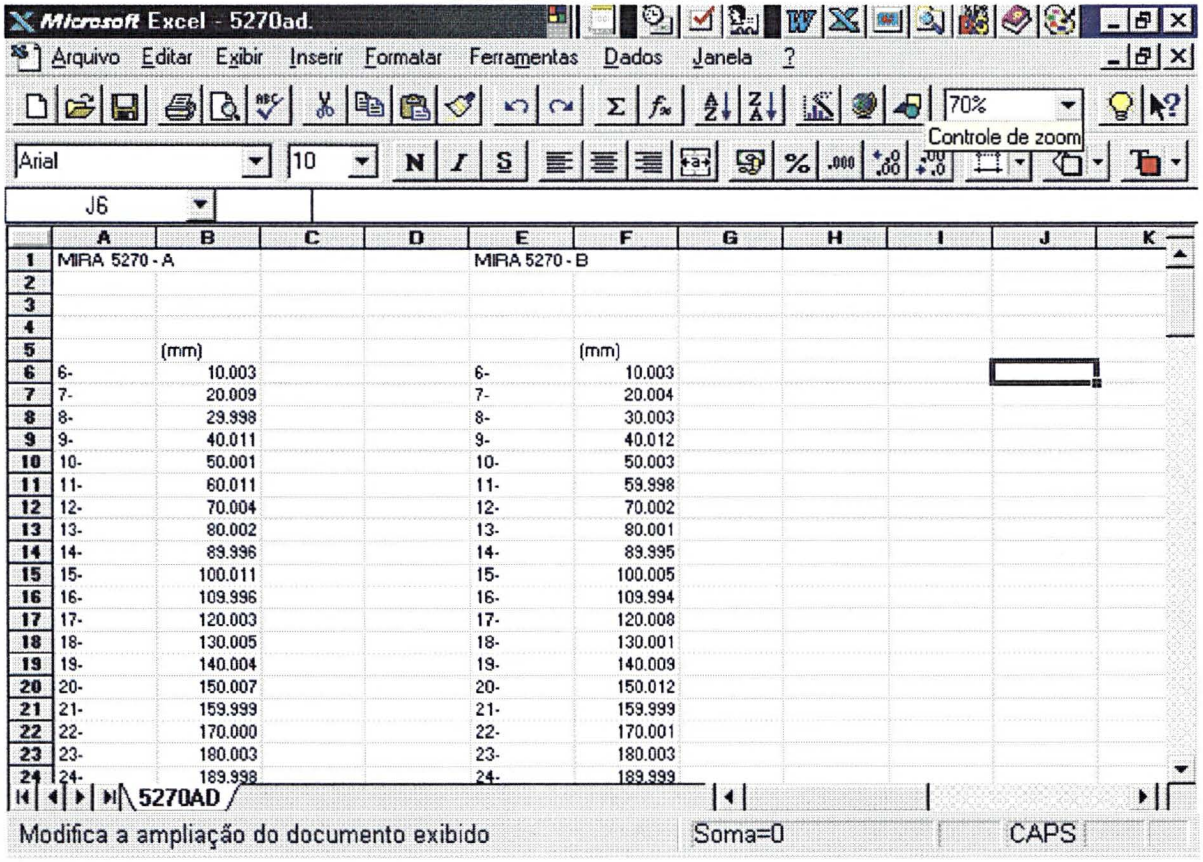
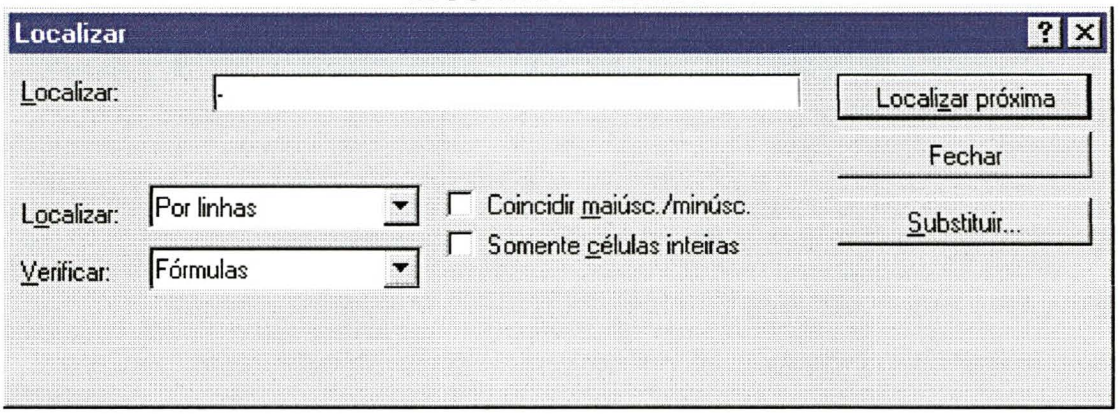


FIGURA 38 - TELA 4



ANEXO V EXEMPLO DE CADERNETA AUTOMATIZADA PREENCHIDA

FIGURA 39 - LINHA NIVELADA RN-22/RN23

LINHA RN-22/RN-23

MIRAS 5270 (A/B) NÍVEL no 86110 DATA: 23/08/95 Hi: 10h 25min
MIRA INÍCIO: A Hf: 11h 15min

Estação	Dist.	Fios Estadim.		Dist.	Fio Nivelador(cm)		Desnível	Desnível	Altitude	Distância	Fio Nivelador		Desnível
		RÉ	VANTE		RÉ	VANTE	R - V (cm)	Acumulado	(m)	acumulada	RÉ	VANTE	R - V
RN-22		254,6	104,2		262,679	112,906	149,773				257,679	107,907	149,772
	14,6	269,4	119,8	15,4	564,235	414,460	149,775			30,0	255,233	105,459	149,774
A					301,556	301,554	149,774	149,774	#VALOR!		FALSO	FALSO	149,773
A		200,2	178,5		209,225	187,149	22,076	149,774	#VALOR!		204,226	182,149	22,077
	17,4	217,8	195,5	16,8	510,778	488,701	22,077			64,2	201,777	179,700	22,077
B					301,553	301,552	22,077	171,851	#VALOR!		FALSO	FALSO	22,077
B		187,0	74,5		191,495	79,659	111,836	171,851	#VALOR!		186,494	74,659	111,835
	7,8	195,0	83,6	8,9	493,051	381,218	111,833			80,9	184,049	72,216	111,833
C					301,556	301,559	111,835	283,685	#VALOR!		FALSO	FALSO	111,834
C		257,0	77,8		261,801	82,102	179,699	283,685	#VALOR!		256,802	77,103	179,699
	7,8	265,0	86,2	8,2	563,354	383,654	179,700			96,9	254,354	74,653	179,701
D					301,553	301,552	179,700	463,385	#VALOR!		FALSO	FALSO	179,700
D		270,0	108,8		274,442	113,891	160,551	463,385	#VALOR!		269,443	108,891	160,552
	7,8	278,0	117,6	8,6	575,995	415,442	160,553			113,3	266,993	106,441	160,552
E					301,553	301,551	160,552	623,937	#VALOR!		FALSO	FALSO	160,552
E		176,6	179,2		186,864	189,122	-2,258	623,937	#VALOR!		181,865	184,121	-2,256
	18,6	195,4	198,8	19,4	488,421	490,678	-2,257			151,3	179,421	181,676	-2,255
RN-23					301,557	301,556	-2,258	621,679	#VALOR!		FALSO	FALSO	-2,256

FIGURA 40 - LINHA NIVELADA RN-21/RN-24

LINHA RN 21/24

MIRAS 5270 (A/B) NÍVEL no 86110 DATA: 29/11/95 Hi: 08h 50min
MIRA INÍCIO: A Hf: 09h 40min

Estação	Dist.	Fios Estadim.		Dist.	Fio Nivelador(cm)		Desnível	Desnível	Altitude (m)	Distância	Fio Nivelador		Desnível
		RÉ	VANTE		RÉ	VANTE	R - V (cm)	Acumulado		acumulada	RÉ	VANTE	R - V
RN-21		87,1	200,2		93,770	206,932	-113,162				88,770	201,933	-113,163
	11,6	98,9	211,8	11,4	395,322	508,488	-113,166			23,0	86,322	199,487	-113,165
A					301,552	301,556	-113,164	-113,164	#VALOR!		FALSO	FALSO	-113,164
A		37,9	254,8		43,612	260,772	-217,160	-113,164	#VALOR!		38,612	255,772	-217,160
	10,0	48,1	265,2	10,2	345,169	562,326	-217,157			43,2	36,169	253,324	-217,155
B					301,557	301,554	-217,159	-330,323	#VALOR!		FALSO	FALSO	-217,157
B		157,9	235,0		168,532	245,752	-77,220	-330,323	#VALOR!		163,533	240,754	-77,222
	20,0	178,1	255,0	19,8	470,084	547,304	-77,220			83,0	161,085	238,304	-77,219
C					301,552	301,552	-77,220	-407,543	#VALOR!		FALSO	FALSO	-77,220
C		73,8	184,9		85,969	196,260	-110,291	-407,543	#VALOR!		80,968	191,259	-110,291
	22,2	96,2	207,1	22,0	387,520	497,812	-110,292			127,2	78,518	188,809	-110,291
D					301,551	301,552	-110,292	-517,834	#VALOR!		FALSO	FALSO	-110,291
D		84,2	238,5		93,810	247,270	-153,460	-517,834	#VALOR!		88,810	242,271	-153,462
	17,4	101,8	255,5	16,8	395,361	548,825	-153,464			161,4	86,361	239,825	-153,464
E					301,551	301,555	-153,462	-671,296	#VALOR!		FALSO	FALSO	-153,463
E		42,5	220,2		47,081	225,605	-178,524	-671,296	#VALOR!		42,080	220,606	-178,526
	8,8	51,5	229,8	9,4	348,634	527,162	-178,528			179,6	39,634	218,160	-178,526
F					301,553	301,557	-178,526	-849,822	#VALOR!		FALSO	FALSO	-178,526
F		73,4	240,0		86,889	253,281	-166,392	-849,822	#VALOR!		81,889	248,282	-166,393
	25,0	98,6	266,0	25,8	388,445	554,832	-166,387			230,4	79,443	245,832	-166,388
G					301,556	301,551	-166,390	-1016,212	#VALOR!		FALSO	FALSO	-166,390
G		68,1	201,8		81,821	215,725	-133,904	-1016,212	#VALOR!		76,821	210,726	-133,905
	25,6	93,9	228,2	26,2	383,379	517,278	-133,899			282,2	74,378	208,277	-133,899
H					301,558	301,553	-133,902	-1150,113	#VALOR!		FALSO	FALSO	-133,902
H		127,8	187,2		137,852	196,864	-59,012	-1150,113	#VALOR!		132,852	191,863	-59,011
	18,2	146,2	204,8	17,4	439,409	498,420	-59,011			317,8	130,409	189,417	-59,008
I					301,557	301,556	-59,012	-1209,125	#VALOR!		FALSO	FALSO	-59,010
I		137,5	127,9		143,862	133,605	10,257	-1209,125	#VALOR!		138,861	128,605	10,256
	10,8	148,5	138,1	10,0	445,414	435,161	10,253			338,6	136,413	126,161	10,252
RN-24					301,552	301,556	10,255	-1198,870	#VALOR!		FALSO	FALSO	10,254

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANANGA, N. Vertical movements of levelling bench marks in northern Israel. **Survey Review**. v. 31, n. 239, January, 1991.

BRASIL. Ministério do Exército. Diretoria do Serviço Geográfico. **Manual técnico - nivelamento geométrico**. Rio de Janeiro: 1960.

BRASIL. Ministério do Exército. Diretoria do Serviço Geográfico. **Manual Técnico - Nivelamento Geométrico**. Rio de Janeiro: 1975.

D'ALGE, J. C. L. **Estabelecimento de um sistema de altitudes a partir de nivelamento geométrico.** Curitiba, 1986. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Setor de Tecnologia. CPGCG, UFPR.

DE FREITAS, S. R. C. **Marés gravimétricas para a Placa Sul-Americana**. São Paulo: 1993. Tese (Doutorado.em. Geodinâmica) - Instituto Astronômico e Geofísico. USP.

DOUBEK, A . **Topografia 3 - altimetria**. Curitiba: DAST, 1977.

FAGGION, P. L. **Contribuição para a implantação de um sistema de aferição de miras na Universidade Federal do Paraná**. Curitiba, 1993. Dissertação (Mestrado em Geociências).- Setor de Tecnologia. CPGCG, UFPR.

FLOYD, L. R. P. Stable and enduring monuments for vertical control networks. **International Hydrographic Review,** Monaco, v. 57, n. 1, January, 1980.

GEMAEL, C. **Introdução à geodésia física**. Curitiba: UFPR, CPGCG, 1981.

GEMAEL, C. **Introdução à geodésia geométrica**. Curitiba: UFPR, CPGCG, 1987.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações - aplicações geodésicas**. Curitiba: UFPR, 1994.

GEODETIC SURVEY OF CANADA.. **A Guide to precise levelling**. [s. l.]. 1988.

GONCHO, G. e MIRANDA, J. M. P. Métodos de ajustamento, correlatos e paramétrico, aplicado a rede altimétrica científica da UFPR. In **4°. EVINCI (Evento de Iniciação Científica da UFPR)**. P. 57. 1996.

IBGE. **Especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos**. Resolução PR n° 22. (21-07-1983). Rio de Janeiro, 1983.

IBGE. **Especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos**. (Coletâneas das Normas Vigentes) - Padronização marcos geodésicos. Rio de Janeiro, 1988.

IBGE. **Nivelamento Geodésico** - Manual de Instruções. Rio de janeiro, 1985.

INMETRO. **Vocabulário de metrologia legal e vocabulário de termos fundamentais e gerais de metrologia**. Duque de Caxias, 1989.

KUKKAMAKI, T. J. **La refraccion nivelítica**. [s. l.: s. n.]. 1945. (Tradução, direcion General del Instituto Geográfico Militar, Argentina).

LAGO, I. F. , LASPERG, R. V. **Determinação de altitudes científicas**. Curitiba: UFPR, 1997. (Relatório Científico).

LEICA, **Niveles digitales**. Heerbrugg: Suiza, 1994.

LUZ, R. T. **Percentual de destruição das RRNN no Brasil**. Curitiba: 1998. (Comunicação Pessoal).

LUZ, R. T. **A influência das ondas de alta e média frequência na observação do nível do mar para aplicações geodésicas**. Rio de Janeiro, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia oceânica) - COPPE/UFRJ.

MEDEIROS, Z. F., JOHANSSON JR., A , GONCHO, G., MIRANDA, J. M. P. e DE FREITAS, S. R. C. Otimização dos levantamentos altimétricos de precisão. In **Congresso Técnico-Científico de Engenharia Civil**. v. 1. p. 479-488. 1996.

MEDEIROS, Z. F., LAGO, I. F. SCHIMALSKI, M. B. XAVIER, J. H. E DE FREITAS, S. R. C. Controle da estabilidade das RRNN (padrão IBGE) utilizando nivelamento geométrico. **in XVIII Congresso Brasileiro de Cartografia**. 1997.

MEDEIROS, Z. F., DE FREITAS, S. R.C. e FAGGION, P. L. **Controle da Estabilidade das RRNN (padrão IBGE) utilizando nivelamento geométrico**. Revista Brasileira de Cartográfia. n. 49. p. 1-6. 1998

NOAA. **Results of leveling refraction tests by the national geodetic survey**. Rockville, 1981. (Technical Report NOS 92 NGS 22).

NOAA. **Geodetic Bench**. Rockville, 1978. (Manual NOS NGS 1).

ROBINSON, A . H.; MORRISON, J. L.; MUEHRCKE, P. C.; KIMERLING, A . J. e GUPTILL, S. C. **Elements of cartography**. 6. ed. New York: John Willey, 1995.

SORIA MEDINA, A. **Classificação de teodolitos e estações totais na UFPR**. Curitiba, 1998. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Setor de Ciências da Terra. CPGCG, UFPR

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia descritiva - fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1986.

UNITED STATES. Federal Geodetic Control Committee. **Standards and specifications for geodetic control networks**. Rockville, Maryland. 1984.

VANICEK, P.; KRAKIWSKY, E. **Geodesy: the concepts**. Amsterdam: Elsevier, 1986.

WILD, **Níveles de anteojo**. Heerbrugg: [ca 1960].

WILD, **Miras de precision**. Heerbrugg: [ca 1962].

WILD, **Miras para nivelacion y taquimetria**. [ca 1965].