

FABIANI DAS DORES ABATI MIRANDA

**METODOLOGIA PARA O MONITORAMENTO DE PONTOS EM
ÁREAS INSTÁVEIS EMPREGANDO-SE ESTAÇÕES TOTAIS**

Dissertação apresentada como requisito parcial a obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Luís A. Koenig Veiga

**CURITIBA
2007**

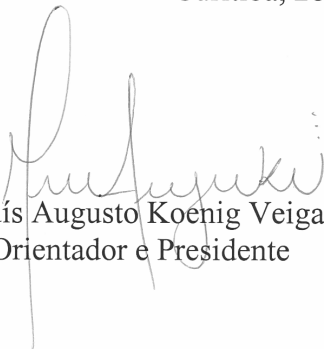
**“METODOLOGIA PARA O MONITORAMENTO DE PONTOS EM
ÁREAS INSTÁVEIS EMPREGANDO-SE ESTAÇÕES TOTAIS”**

POR

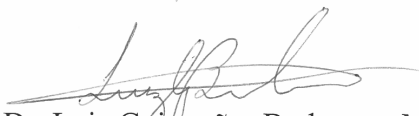
FABIANI DAS DORES ABATI MIRANDA

Dissertação nº 205 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:

Curitiba, 28 de fevereiro de 2007.



Prof. Dr. Luís Augusto Koenig Veiga (UFPR)
Orientador e Presidente



Prof. Dr. Luiz Guimarães Barbosa - Membro (UFRRJ)



Prof. Dr. Carlos Aurélio Nadal – Membro (UFPR)

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado à minha família, especialmente aos meus pais João e Ana, pelo amor, atenção, apoio e incentivo que sempre me foram dados.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a Deus pela saúde, pela esperança, pelos dons, pelo existir.

A minha família, pelo carinho, apoio, dedicação, incentivo permanente e por estarem, apesar da distância, sempre presentes ao longo desta caminhada.

Ao Prof. Dr. Luís A. Koenig Veiga, agradeço por sua dedicação, amizade e apoio. Pela orientação, conselhos e contribuições prestadas durante o decorrer de toda a minha caminhada nesta Universidade.

Ao Prof. Dr. Pedro L. Faggion e Prof. Dr. Sílvio Rogério C. de Freitas pela cordialidade e atenção que sempre me foram dispensadas.

Aos membros da banca examinadora: Prof. Dr. Carlos A. Nadal e Prof. Dr. Luiz Guimarães, pelas contribuições inestimáveis por meio das sugestões para o enriquecimento deste trabalho no Seminário I.

A Universidade Federal do Paraná, através do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - CPGCG, por colocar a disposição seus laboratórios e instalações.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES) pelo apoio financeiro através da bolsa de estudos.

A Alessandra S. Palmeiro, Ernesto M. Shibayama, Karoline P. Jamur, Maria Madalena S. da Silva, Niarkios Graça, Vanessa L. F. Araujo pela ajuda nos levantamentos de campo.

Ao Ernesto M. Shibayama e ao Marco A. Nadal pelas conversas sempre produtivas e contribuições valiosas.

A família Lins Fuentes Araujo, em especial a Vanessa, pela amizade, carinho, pela preocupação e ajuda que me foi dada no decorrer de todos esses anos.

A todos os professores e alunos do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, com os quais pude discutir sobre temas técnicos e científicos, pelo companheirismo, por todos os ensinamentos e dedicação.

Aos meus amigos queridos: Alessandra S. Palmeiro, Ernesto M. Shibayama, Franciely A. Miranda, Karoline P. Jamur, Michele Beppler, Ricardo V. Neves, Roberto T. Luz, Tatiana Taura, Vanessa L. F. Araújo e a Wânia Nascimento por toda paciência, carinho, companheirismo, apoio permanente, pela amizade e presença nos momentos mais difíceis e nos mais felizes no decorrer destes anos... obrigada por serem minha família em Curitiba.

A todos aqueles colegas e amigos que direta e indiretamente contribuíram para a realização desta dissertação.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE GRÁFICOS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1 INTRODUÇÃO	01
1.1 OBJETIVO	03
1.1.1 Objetivos específicos	04
1.2 JUSTIFICATIVA	04
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	05
2 REVISÃO DE LITERATURA	07
2.1 MONITORAMENTO	07
2.2 ESTAÇÕES TOTAIS	11
2.2.1 Compensadores Automáticos – Compensadores de dois eixos	13
2.3 ERROS QUE AFETAM AS MEDIDAS ANGULARES	15
2.4 ERROS NAS MEDIDAS DE DISTÂNCIA	18
2.4.1 Correções Atmosféricas - fórmula existente no manual do equipamento	21
2.4.2 Correções Atmosféricas - fórmulas adotadas pela IUGG	21
2.4.3 Método de Relação de Comprimentos	23
2.4.3.1 Método de Relação da Linha de Referência	24
2.4.3.1.1 Relações corrigidas e observadas	25
2.5 USO DE PONTOS DE CONTROLE PARA AUXILIAR NO MONITORAMENTO DE DESLOCAMENTOS DA ESTAÇÃO TOTAL....	26
2.6 SISTEMAS DE REFERÊNCIA	27
2.6.1 Sistema Local de Referência	28
2.6.2 Sistema de Coordenadas Instrumentais	29
2.7 AJUSTAMENTO	33

2.7.1 Modelo Matemático	34
2.7.2 Ajustamento de Observações pelo MMQ	35
2.7.3 Análise do Ajustamento	36
3 METODOLOGIA	40
3.1 AVALIAÇÃO DO MÉTODO DE RELAÇÃO DA LINHA DE REFERÊNCIA	40
3.1.1 Equipamentos	42
3.1.2 Procedimento de Campo	43
3.2 MONITORAMENTO DA POSIÇÃO DA ESTAÇÃO TOTAL ATRAVÉS DO USO DE PONTOS DE CONTROLE	52
3.2.1 Equipamentos	52
3.2.2 Teste em Laboratório	53
3.2.3 Teste na Base de Classificação da UFPR	58
3.3 MÉTODO DE RELAÇÃO DA LINHA DE REFERÊNCIA E MONITORAMENTO DA POSIÇÃO DA ESTAÇÃO TOTAL	61
4 RESULTADOS	67
4.1 AVALIAÇÃO DO MÉTODO DE RELAÇÃO DA LINHA DE REFERÊNCIA	67
4.1.1 Levantamento – Estação Total Elta S20	67
4.1.2 Levantamento – Estação Total TC 403L	76
4.2 MONITORAMENTO DA POSIÇÃO DA ESTAÇÃO TOTAL ATRAVÉS DO USO DE PONTOS DE CONTROLE	82
4.2.1 Teste em Laboratório	82
4.2.2 Teste na Base de Classificação da UFPR	85
4.3 MÉTODO DE RELAÇÃO DA LINHA DE REFERÊNCIA E MONITORAMENTO DA POSIÇÃO DA ESTAÇÃO TOTAL	89
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	94
6 REFERÊNCIAS	97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CPGCG	Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas da UPFR
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Global)
IUGG	<i>International Union of Geodesy and Geophysics</i>
LabTOPO	Laboratório de Topografia
LAIG	Laboratório de Instrumentação Geodésica
LARAS	Laboratório de Referenciais Geodésicos e Altimetria por Satélites
LATIN	Laboratório de Topografia Informatizada
MED	Medidor Eletrônico de Distância
MMQ	Método dos Mínimos Quadrados
ppm	Parte Por Milhão
UFPR	Universidade Federal do Paraná
US ARMY	<i>US Army Corps of Engineers</i>

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	MONITORAMENTO DOS DESTROÇOS DO NAVIO BTG VICUÑA	08
FIGURA 2	DESABAMENTO DA PONTE DA RODOVIA RÉGIS BITTENCOURT, SENTIDO CURITIBA - SÃO PAULO	08
FIGURA 3	ROMPIMENTO DE BARRAGEM DA EMPRESA MINERADORA RIO POMBA CATAGUASES - MINAS GERAIS	09
FIGURA 4	DESABAMENTO OCORRIDO NA OBRA DA LINHA 4 DO METRÔ EM SÃO PAULO	09
FIGURA 5	ERRO DE POSIÇÃO	13
FIGURA 6	ERROS DE NIVELAMENTO DA ESTAÇÃO	14
FIGURA 7	SISTEMAS DE EIXO DA ESTAÇÃO TOTAL	16
FIGURA 8	INFLUÊNCIA DO SINAL NAS MEDIDAS DE DISTÂNCIA COM ESTAÇÕES TOTAIS ZEISS	18
FIGURA 9	ERROS EM MED PROVOCADOS POR VARIAÇÕES EM TEMPERATURA E PRESSÃO	19
FIGURA 10	SISTEMA LOCAL DE REFERÊNCIA	28
FIGURA 11	SISTEMA DE COORDENADAS INSTRUMENTAIS	30
FIGURA 12	POSICIONAMENTO DE UM PONTO EM UM SISTEMA DE COORDENADAS CARTESIANAS ORTOGONAIS TRIDIMENSIONAL DEXTRÓGIRO	31
FIGURA 13	COORDENADAS CILÍNDRICAS E CARTESIANAS DO PONTO P	32
FIGURA 14	TRIÂNGULOS UTILIZADOS NAS TRANSFORMAÇÕES	32
FIGURA 15	MAPA DE LOCALIZAÇÃO - CENTRO POLITÉCNICO UFPR	41
FIGURA 16	DETALHE - MAPA DE LOCALIZAÇÃO	42
FIGURA 17	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	43
FIGURA 18	CONDIÇÕES METEREOLÓGICAS DURANTE OS LEVANTAMENTOS ..	44
FIGURA 19	PILAR BASE	45
FIGURA 20	PILARES P1 E P2	46
FIGURA 21	BASES NIVELADAS	47
FIGURA 22	PRISMAS DIRECIONADOS PARA O PILAR BASE	47
FIGURA 23	DISPOSIÇÃO DOS PONTOS NO LATIN	53
FIGURA 24	NÍVEL DIGITAL	54
FIGURA 25	DISPOSIÇÃO DOS PONTOS NA BASE DE CLASSIFICAÇÃO	59
FIGURA 26	DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS NA ÁREA DE LEVANTAMENTO	62
FIGURA 27	DISPOSIÇÃO DOS PONTOS NA ÁREA DE LEVANTAMENTO.....	63

LISTA DE QUADROS E TABELAS

TABELA 1	CLASSIFICAÇÃO DAS ESTAÇÕES TOTAIS	12
TABELA 2	ERROS QUE PODEM AFETAR AS MEDIDAS ANGULARES	17
QUADRO 1	OBSERVAÇÕES DE CAMPO OBTIDAS COM A ESTAÇÃO ELTA S20	48
QUADRO 2	OBSERVAÇÕES DE CAMPO OBTIDAS COM A ESTAÇÃO TC 403L	50
QUADRO 3	OBSERVAÇÕES EM LABORATÓRIO – ESTAÇÃO TOTAL NIVELADA .	55
QUADRO 4	OBSERVAÇÕES EM LABORATÓRIO – ESTAÇÃO TOTAL DESNIVELADA DE 2'	56
QUADRO 5	OBSERVAÇÕES DE CAMPO – ESTAÇÃO TOTAL NIVELADA	60
QUADRO 6	OBSERVAÇÕES DE CAMPO – ESTAÇÃO TOTAL DESNIVELADA DE 7'	61
QUADRO 7	OBSERVAÇÕES EM CAMPO – ESTAÇÃO TOTAL NIVELADA	64
QUADRO 8	OBSERVAÇÕES EM CAMPO – ESTAÇÃO TOTAL DESNIVELADA	65
QUADRO 9	DISTÂNCIAS CORRIGIDAS PELO MÉTODO DE RELAÇÃO DA LINHA DE REFERÊNCIA	71
QUADRO 10	COMPARAÇÃO DAS DISTÂNCIAS CORRIGIDAS OBTIDAS PELO MÉTODO DE RELAÇÃO, FÓRMULAS ADOTADAS PELA IUGG E FÓRMULAS DO MANUAL DO EQUIPAMENTO	73
QUADRO 11	DISTÂNCIAS CORRIGIDAS PELO MÉTODO DE RELAÇÃO DA LINHA DE REFERÊNCIA	78
QUADRO 12	COMPARAÇÃO DAS DISTÂNCIAS CORRIGIDAS OBTIDAS PELO MÉTODO DE RELAÇÃO, FÓRMULAS ADOTADAS PELA IUGG E FÓRMULAS DO MANUAL DO EQUIPAMENTO	79
QUADRO 13	ÂNGULOS HORIZONTAIS E VERTICAIS – ESTAÇÃO NIVELADA	82
QUADRO 14	ÂNGULOS HORIZONTAIS E VERTICAIS – ESTAÇÃO DESNIVELADA..	83
QUADRO 15	COORDENADAS NO REFERENCIAL DA ESTAÇÃO (NIVELADA)	83
QUADRO 16	COORDENADAS NO REFERENCIAL DA ESTAÇÃO (DESNIVELADA) ..	83
QUADRO 17	PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO	84
QUADRO 18	COMPARAÇÃO DE COORDENADAS	84
QUADRO 19	ÂNGULOS HORIZONTAIS E VERTICAIS – ESTAÇÃO NIVELADA	86
QUADRO 20	ÂNGULOS HORIZONTAIS E VERTICAIS – ESTAÇÃO DESNIVELADA..	86
QUADRO 21	COORDENADAS NO REFERENCIAL DA ESTAÇÃO (NIVELADA)	86
QUADRO 22	COORDENADAS NO REFERENCIAL DA ESTAÇÃO (DESNIVELADA) ..	87
QUADRO 23	PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO	87
QUADRO 24	COMPARAÇÃO DE COORDENADAS	88
QUADRO 25	DISTÂNCIAS CORRIGIDAS PELO MÉTODO DE RELAÇÃO DA LINHA DE REFERÊNCIA - ESTAÇÃO NIVELADA	89
QUADRO 26	DISTÂNCIAS CORRIGIDAS PELO MÉTODO DE RELAÇÃO DA LINHA DE REFERÊNCIA - ESTAÇÃO DESNIVELADA	90
QUADRO 27	DISTÂNCIAS CORRIGIDAS MÉDIAS – ESTAÇÃO NIVELADA	90
QUADRO 28	DISTÂNCIAS CORRIGIDAS MÉDIAS – ESTAÇÃO DESNIVELADA	90
QUADRO 29	ÂNGULOS HORIZONTAIS E VERTICAIS – ESTAÇÃO NIVELADA	91
QUADRO 30	ÂNGULOS HORIZONTAIS E VERTICAIS – ESTAÇÃO DESNIVELADA .	91
QUADRO 31	COORDENADAS NO REFERENCIAL DA ESTAÇÃO (NIVELADA)	91
QUADRO 32	COORDENADAS NO REFERENCIAL DA ESTAÇÃO (DESNIVELADA) ..	92
QUADRO 33	PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO	92
QUADRO 34	COMPARAÇÃO DE COORDENADAS	93

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1	VARIAÇÕES DE TEMPERATURA E PRESSÃO DURANTE OS DIAS DE LEVANTAMENTO	67
GRÁFICO 2	DISTÂNCIAS CORRIGIDAS (BASE - PONTO P1)	74
GRÁFICO 3	DISTÂNCIAS CORRIGIDAS (BASE - PONTO P2)	74
GRÁFICO 4	DISTÂNCIAS CORRIGIDAS (BASE - PONTO P3)	75
GRÁFICO 5	COMPARAÇÃO DAS DISTÂNCIAS CORRIGIDAS OBTIDAS PELO MÉTODO DE RELAÇÃO, FÓRMULAS ADOTADAS PELA IUGG E FÓRMULAS DO MANUAL DO EQUIPAMENTO (BASE - PONTO P2)	75
GRÁFICO 6	COMPARAÇÃO DAS DISTÂNCIAS CORRIGIDAS OBTIDAS PELO MÉTODO DE RELAÇÃO, FÓRMULAS ADOTADAS PELA IUGG E FÓRMULAS DO MANUAL DO EQUIPAMENTO (BASE - PONTO P3)	76
GRÁFICO 7	VARIAÇÕES DE TEMPERATURA E PRESSÃO DURANTE OS DIAS DE LEVANTAMENTO	77
GRÁFICO 8	DISTÂNCIAS CORRIGIDAS (BASE - PONTO P1)	79
GRÁFICO 9	DISTÂNCIAS CORRIGIDAS (BASE - PONTO P2)	80
GRÁFICO 10	DISTÂNCIAS CORRIGIDAS (BASE - PONTO P3).....	80
GRÁFICO 11	COMPARAÇÃO DAS DISTÂNCIAS CORRIGIDAS OBTIDAS PELO MÉTODO DE RELAÇÃO, FÓRMULAS ADOTADAS PELA IUGG E FÓRMULAS DO MANUAL DO EQUIPAMENTO (BASE - PONTO P2)	81
GRÁFICO 12	COMPARAÇÃO DAS DISTÂNCIAS CORRIGIDAS OBTIDAS PELO MÉTODO DE RELAÇÃO, FÓRMULAS ADOTADAS PELA IUGG E FÓRMULAS DO MANUAL DO EQUIPAMENTO (BASE - PONTO P3)	81

RESUMO

Vários estudos estão sendo realizados com o intuito de caracterizar e validar técnicas de monitoramento de pontos. Parte deste interesse deve-se a grandes desastres acontecidos nos últimos anos. Diante de tais acontecimentos, uma maneira racional de se priorizar as ações necessárias ao restabelecimento das condições de estabilidade e segurança nessas situações, é o monitoramento dos pontos (variação temporal de suas coordenadas) com o apoio de técnicas apropriadas a cada circunstância. No entanto, percebe-se que a prevenção desse tipo de problema torna-se um fator decisivo na busca de melhores soluções e estratégias para que sua ocorrência seja prevista e, se possível, controlada, evitando vítimas ou que o mesmo atinja proporções desastrosas. Dentro desse contexto, esta pesquisa propõe estudar, aplicar e desenvolver metodologias que possam otimizar o monitoramento de pontos em áreas instáveis. Para tanto, realizaram-se quatro experimentos, dois deles referentes às incertezas nos parâmetros atmosféricos que provocam erros sistemáticos nas medidas de distâncias, influenciando desta forma a determinação das coordenadas dos pontos monitorados. Nestes ensaios, foi empregado o Método de Relação da Linha de Referência. A avaliação da precisão das distâncias obtidas pela aplicação desse método foi realizada comparando-se as mesmas com as distâncias corrigidas pelas fórmulas adotadas pela União Internacional de Geodésia e Geofísica e pelas fórmulas que constam em manuais de equipamentos. As diferenças encontradas nesta comparação foram da ordem de milímetros, porém, para fins de levantamentos topográficos, os resultados foram considerados satisfatórios, visto que tais diferenças encontram-se dentro da precisão nominal do equipamento. Além disso, os experimentos confirmaram que com a aplicação deste método, é possível desenvolver trabalhos em condições climáticas adversas bem como permitir que as distâncias sejam corrigidas dos fatores atmosféricos. Para tanto, basta que estas informações sejam coletadas uma única vez, durante o início dos trabalhos. Outro experimento realizado foi o de monitoramento da posição da estação total através do uso de pontos de controle. Esse experimento reproduz o comportamento da estação total em uma área instável. Neste caso, o compensador da Estação Total foi desligado e, através dos parafusos calantes, ela foi desnivelada. Desta forma, dois conjuntos de observações foram obtidos para cada experimento, e a partir disso, foi possível calcular valores de deslocamento (translação e rotação) em relação a uma posição inicial do instrumento. Posteriormente, tais parâmetros foram utilizados para o ajuste das coordenadas da Estação Total. O último experimento foi realizado com intuito de se criar uma metodologia, através da união do Método de Relação da Linha de Referência com a utilização de pontos de controle para verificar a estabilidade da posição da Estação Total, garantindo assim precisão nas medidas angulares e lineares no monitoramento de pontos.

Palavras-chave: Monitoramento, Estação Total, Correções Atmosféricas, Método de Relação da Linha de Referência.

ABSTRACT

Several studies are being carried out aiming characterizing and validating point monitoring techniques. Part of this interest is due to great disasters occurred in the last years. Facing such events, a rational way of prioritizing the actions needed to the restoration of the stability and security conditions in these situations, is the point monitoring (observation of the temporal variation of its coordinates) with the support of suitable techniques according each context. However, it is realized that the prevention of such kind of problem becomes a decisive factor in the search for better solutions and strategies allowing its occurrence to be predicted and, if possible, controlled, avoiding victims and minimizing its proportions. In this context, this research proposes to study, to apply and to develop methodologies that could optimize the monitoring of points in unstable areas. Thus, four experiments were carried out, two of them related to the atmospheric parameters uncertainties that causes systematic errors in the distance measurements, affecting in this way the monitored points coordinates determination. In these tests, it was employed the Reference Line Relation Method. The evaluation of the precision of the distances obtained by the application of this method was carried out with its comparison to the distances corrected by the formulas adopted by International Union of Geodesy and Geophysics and by the formulas included in the equipments manuals. The differences found in this comparison were of the order of few millimeters, however, aiming for topographical surveys, the results were considered satisfactory, since such differences are within the nominal accuracy of the equipment. Besides, the experiments confirmed that the application of this method allows the development of surveys under adverse climatic conditions, as well as the correction of the distances with the atmospheric factors. To do this, it is enough to collect these informations only once, in the beginning of the works. Another experiment was the monitoring of the total station position through the use of control points. This experiment reproduces the behavior of the total station in an unstable area. In this case, its compensator was turned off and the Total Station itself was tilted through the leveling screws. In this way, two sets of observations were obtained for each experiment, and from that, it was possible to compute displacement values (translation and rotation) regarding an initial position of the instrument. These parameters are used, subsequently, in an adjustment aiming for the Total Station coordinates determination. The last experiment was carried out intending the creation of a methodology, through the union of the Reference Line Relation Method and the use of control points to check the stability of the Total Station position, assuring precision in the angular and linear measurements for point monitoring.

Palavras-chave: Monitoring, Total Station, Atmospheric Corrections, Reference Line Ratio Method.

1 INTRODUÇÃO

Desastres provocados pelas mais variadas causas, como por exemplo, por agentes naturais ou por falhas humanas mostram-se cada vez mais presentes em nosso cotidiano. Como exemplo, pode-se citar a queda do edifício Palace II de 22 andares, na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro em fevereiro de 1998, onde ocorreram perdas humanas e materiais; a explosão dupla do navio BTG Vicuña da Sociedade Naviera Ultragas quando descarregava metanol na Baía de Paranaguá, em novembro de 2004, causando a morte de 3 das 28 pessoas que compunham a tripulação; a ruptura da ponte sobre a Represa do Capivari, no km 42 da Rodovia Regis Bittencourt (BR-116), no sentido Curitiba – São Paulo, em janeiro de 2005 e mais recentemente, o rompimento da barragem da empresa mineradora Rio Pomba Cataguases, na Zona da Mata, Minas Gerais, em janeiro de 2007; e o desabamento ocorrido na obra da Linha 4 do metrô em São Paulo, na futura estação Pinheiros, zona oeste da capital, também em janeiro de 2007.

Acidentes desta magnitude causam impactos à sociedade, que ao mesmo tempo em que lamenta tais acontecimentos, clama por respostas e espera que providências sejam tomadas para evitar novas tragédias. Diante desses fatos e cobranças, uma maneira racional de se priorizar as ações a serem efetuadas, necessárias ao restabelecimento das condições de estabilidade e segurança nesses locais, é o monitoramento do deslocamento de pontos com o apoio de técnicas apropriadas a cada situação, sendo que o resultado do monitoramento depende diretamente das limitações do equipamento utilizado, das condições de trabalho na área e do objeto a serem monitorados.

Nos últimos cinco anos algumas pesquisas têm sido realizadas de forma a caracterizar as condições de operação da Estação Total no monitoramento dinâmico de pontos (CERYOVÁ et al., 2002, COSSER et al., 2003, KOPÁCIK; KYRINOVIC; KADLECIKOVÁ, 2005, RADOVANOVIC; TESKEY, 2001), indicando de forma técnica os resultados encontrados e, segundo COSSER et al. (2003), LEICA

GEOSYSTEM (2002), entre outros, as Estações Totais têm sido utilizadas com bons resultados.

Usualmente as Estações Totais são instaladas em locais permanentes, isto é, em pilares de centragem forçada ou em locais que garantam a estabilidade do instrumento, sendo posteriormente niveladas para alinhar seu eixo principal com a direção da gravidade local. A atenção é depositada para selecionar somente lugares estáveis, lugares estes que possam garantir que as coordenadas obtidas da estação, permanecerão em uma rede de referência consistente para simplificar a detecção de movimento nos pontos monitorados (VAN CRANENBROECK e BROWN, 2004).

Todavia, na prática, em diversos lugares esta condição não é completamente cumprida, pois em alguns casos o equipamento não pode ser instalado em uma área considerada estável¹. Para tentar resolver este problema, um conjunto de pontos de controle considerados estáveis deve ser distribuído ao redor da área para que os mesmos possam ser utilizados no monitoramento da posição da Estação Total. O compensador da estação é desligado e a partir de medições nos pontos de controle, considerados estáveis, é possível calcular valores de deslocamento (translação e rotação) em relação a uma posição inicial do instrumento. Essa decisão é tomada em virtude da instabilidade da área provocar inclinações que podem ultrapassar os limites do compensador, como exemplo, cita-se a Estação Total Zeiss Elta S20 que compensa inclinações de até 5 minutos (ZEISS, 2001).

Tendo em vista a precisão exigida na determinação de coordenadas, já que os deslocamentos a serem determinados podem ser da ordem de milímetros, outra precaução a ser tomada refere-se às variações nas condições atmosféricas, que causam um aumento ou diminuição na velocidade de propagação da onda eletromagnética e provocam, conseqüentemente, erros sistemáticos nas medidas de distâncias. A correção deste efeito se faz através das tomadas dos valores de pressão e temperatura durante cada observação de medida de distância.

¹ Por estável, entende-se, segundo FERREIRA (1999), assente, firme, sólido, inalterável, ou seja, algo que não apresenta alterações no seu estado original. A partir dessa premissa, pode-se caracterizar por área estável, a região que não sofre deslocamentos.

Dentro desse contexto, essa proposta de pesquisa caracteriza-se pelo estudo de técnicas e metodologias que serão aplicadas no monitoramento de pontos em áreas instáveis. Em vista disso, foram realizados quatro experimentos, dois desses referentes a um dos fatores que influenciam as medidas de distâncias - os efeitos atmosféricos (pressão, temperatura seca e úmida).

Nestes ensaios, não se pretendeu calcular valores para correção e aplicá-los as distâncias, mas sim um fator de escala, que aplicado, possibilite encontrar as mesmas distâncias obtidas com a correção atmosférica. Para tanto, o método empregado foi o de Relação da Linha de Referência (US ARMY, 2002). Neste método só as distâncias observadas são necessárias, não há a necessidade de se tomar leituras de temperatura e pressão a cada medida de distância, mais sim uma única vez, no início do levantamento.

Já o terceiro experimento reproduz o comportamento da Estação Total em uma área instável, em um campo de teste, no qual a Estação Total foi instalada em pilares de centragem forçada e em tripés industriais sob terreno estável. Neste caso, ao invés do desnivelamento da estação ser provocada pela instabilidade no local de instalação do equipamento, ele foi provocado pelo operador do equipamento, ou seja, o compensador da estação foi desligado e através dos parafusos calantes ela foi desnivelada.

O último experimento foi realizado com intuito de se criar uma metodologia, através da união do Método de Relação da Linha de Referência com a utilização de pontos de controle para verificar a estabilidade da posição da Estação Total, garantindo assim precisão nas medidas angulares e lineares no monitoramento de pontos.

1.1 OBJETIVO

Propor e implementar metodologias para o monitoramento de pontos em áreas instáveis utilizando Estações Totais e, verificar, a partir do resultado dos

levantamentos, a viabilidade da utilização desses métodos para calcular as coordenadas de pontos, em diferentes épocas, sem comprometimento da precisão necessária ao tipo de levantamento em questão.

1.1.1 Objetivos específicos

- a) Propor metodologias que garantam precisão e rapidez na coleta de dados voltados para o monitoramento de pontos;
- b) Avaliar a eficiência do Método de Relação da Linha de Referência, apresentado pelo US Army Corps of Engineers (US ARMY, 2002), para correções das distâncias;
- c) Efetivar testes de validação através da comparação dos dados calculados pelo Método de Relação da Linha de Referência com as fórmulas que constam no manual do equipamento (Estação Total), e as fórmulas adotadas pela *International Union of Geodesy and Geophysics* (IUGG), apresentadas em RÜEGER (1996);
- d) Avaliar a utilização de pontos de controle na verificação da estabilidade da posição da Estação Total;
- e) Estudar e aplicar os modelos de ajustamento de observações para a obtenção de parâmetros de transformação;
- f) Criar um método de monitoramento integrando os conceitos do Método de Relação da Linha de Referência e utilização de pontos de controle para monitorar a posição da estação total.

1.2 JUSTIFICATIVA

A ocorrência de um acidente pode ou não caracterizar um fato isolado. Outros tantos podem ser causados em função do primeiro. Em tais circunstâncias, o

conhecimento de métodos e técnicas que permitam analisar adequadamente a situação, proporcionando uma otimização de recursos humanos especializados, diagnósticos precisos e a operação de monitoramento ou determinação de coordenadas de forma rápida e segura, torna-se um fator decisivo para a solução do problema, impedindo que problemas adicionais ocorram, minimizando dessa forma os danos causados por tal incidente.

Um dos principais problemas na análise de deslocamentos é a confirmação da estabilidade dos pontos de referência, a partir dos quais são realizadas as observações. Para obter os deslocamentos absolutos dos pontos objeto, deve ser assegurada a estabilidade dos pontos de referência e os pontos instáveis devem ser identificados. Caso contrário, os deslocamentos calculados dos pontos objeto e subsequente análise e a interpretação do deslocamento do objeto podem sofrer distorções significativas.

É suposto que os pontos de referência são locados fora da área de deslocamento, porém nem sempre esta condição pode ser atendida. Neste caso deve-se dispor de uma sistemática para a verificação da instabilidade do ponto ocupado. Infelizmente, este problema é freqüentemente subestimado e negligenciado na prática dos levantamentos (CHEN, 1990). Disto decorre a necessidade do estudo de técnicas aplicadas a este controle.

Adicionalmente, o estudo do Método de Relação da Linha de Referência pode otimizar a execução do levantamento, em função da forma de cálculo das correções, além de que seu estudo pode indicar a possibilidade da sua aplicação para os levantamentos topográficos convencionais.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Para uma melhor compreensão este trabalho está estruturado em 6 capítulos. O primeiro capítulo especifica o problema a ser solucionado durante a pesquisa justificando sua relevância para a ciência bem como, os objetivos geral e específicos. No Capítulo 2 são apresentados os aspectos conceituais fundamentais nos quais se

baseia esta pesquisa. O Capítulo 3 contém a descrição dos experimentos realizados. Já no Capítulo 4 apresentam-se os resultados dos cálculos efetuados e análise dos gráficos gerados. No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões, bem como algumas recomendações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MONITORAMENTO GEODÉSICO

Às 19h 30min de uma segunda-feira, 15 de novembro de 2004, o navio BTG Vicuña da Sociedad Naviera Ultragas, com uma tripulação de 28 pessoas, explodiu duas vezes enquanto descarregava metanol na Baía de Paranaguá, no píer da Cattalini Terminais Marítimos. A explosão além de partir o navio e afunda-lo parcialmente causou a morte de 3 tripulantes e um desaparecimento.

A carga do navio era composta por 14,26 milhões de litros de metanol, parte desta carga já havia sido descarregada, restavam a bordo cerca de 5 milhões de litros. O navio havia sido reabastecido antes do procedimento de descarga com cerca de 1,5 milhões de litros de óleo combustível, tipo “bunker”.

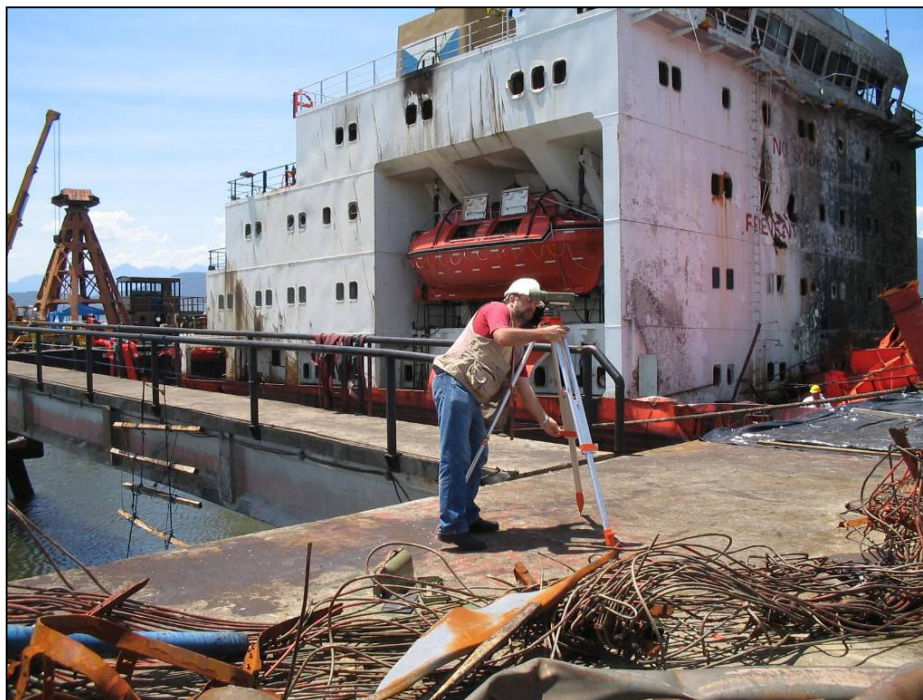
No dia 26 de novembro de 2004, iniciaram-se os trabalhos de monitoramento dos possíveis deslocamentos dos destroços (figura 1). As prováveis causas para os deslocamentos teriam sua origem em: recalques de fundo, marés, atracamento lateral de embarcações de apoio, correntes e movimentos da danificada estrutura de concreto adjacente ao navio que compõe o píer.

Uma vez que o navio encontrava-se parcialmente submerso, os destroços estavam sujeitos a pequenas movimentações decorrentes principalmente das forças oriundas das marés e das correntes vazantes. O peso próprio do navio e sua variação decorrente da retirada de combustíveis, também poderiam ocasionar rupturas, quedas, recalques, uma vez que o fundo da Baía é constituído de material lodoso. Estes fatores potencializaram os riscos dos trabalhadores envolvidos na limpeza bem como o agravamento dos danos ambientais (NADAL et al., 2005).

O exemplo citado acima mostra que, mesmo após a ocorrência de um acidente, técnicas de monitoramento são necessárias para evitar problemas adicionais. Outras situações podem ser visualizadas nas figuras 2, 3 e 4. Diante dessas situações, percebe-se o quanto é importante e necessário, estudos que desenvolvam sistemas de segurança, e em especial, técnicas de monitoramento.

Monitorar é acompanhar o comportamento de um objeto ao longo do tempo e no caso do monitoramento geodésico este acompanhamento se dá pela comparação das coordenadas de um mesmo ponto em duas épocas distintas. Pode ser definido, portanto, como uma forma de controle sobre a situação, isto é, através de técnicas, pode-se detectar o quanto o objeto está deslocando, implicando dessa forma numa tomada rápida, segura e precisa de decisões por parte da equipe de monitoramento, de modo que se possa evitar que o problema se alastre ou pelo menos minimizar os danos causados por tal incidente.

FIGURA 1 - MONITORAMENTO DOS DESTROÇOS DO NAVIO BTG VICUÑA



FONTE: NADAL et al., 2005

FIGURA 2 - DESABAMENTO DA PONTE DA RODOVIA RÉGIS BITTENCOURT, SENTIDO CURITIBA - SÃO PAULO



FONTE: CENACID, 2005

FIGURA 3 - ROMPIMENTO DE BARRAGEM DA EMPRESA MINERADORA RIO POMBA
CATAGUASES - MINAS GERAIS



FONTE: BARRAGEM, 2007

FIGURA 4 - DESABAMENTO OCORRIDO NA OBRA DA LINHA 4 DO METRÔ EM SÃO
PAULO



FONTE: ACIDENTE, 2007

Deste modo, o monitoramento passa a ser uma ferramenta adicional para auxiliar na decisão das ações a serem efetuadas no local do incidente, necessárias ao restabelecimento das condições de estabilidade e segurança nesses locais.

A precisão, o grau de automação e o alcance da medição, são características básicas para a escolha das técnicas a serem utilizadas, possuindo cada uma, vantagens e desvantagens. Algumas técnicas de monitoramento da posição de pontos são apresentadas a seguir:

- a) Fotogrametria: se um objeto é fotografado de dois ou mais pontos obtidos de posições e orientação relativa da câmera conhecidas, as posições de todos os pontos do objeto podem ser determinadas usando relações geométricas, entre a interseção dos raios óticos que conectam a imagem e os pontos objetos. Se as posições relativas e a orientação da câmera forem desconhecidas, alguns pontos de controle no objeto devem primeiramente ser posicionados usando outras técnicas de levantamento (EROL et al., 2004).

As principais vantagens em usar essa técnica são: a redução do tempo de trabalho de campo; e; em princípio, um número ilimitado de pontos pode ser monitorado. Entretanto, essa técnica torna-se limitada para monitoramento de grandes estruturas com problemas na estabilidade dos alvos e falta/excesso de iluminação;

- b) Laser Scanning: é uma tecnologia nova, que permite medidas de milhões de pontos com rapidez, permitindo dessa forma, uma predição mais exata do comportamento de uma estrutura. Tem como desvantagem o alto custo do instrumento e a precisão obtida, quando comparado com técnicas tradicionais.
- c) Sistema de Posicionamento Global (GPS): a intervisibilidade entre estações não é estritamente necessária, permitindo uma maior

flexibilidade na seleção das posições das estações; as medidas podem ser realizadas durante o dia e a noite, sob condições de tempo variadas. Desvantagem: não permite o rastreamento dentro de ambientes fechados ou que dificultem o recebimento dos sinais dos satélites, necessita também que uma antena seja posicionada sobre o objeto a ser monitorado;

- d) Técnicas geodésicas convencionais: caracterizadas por observações diretas de distâncias, ângulos verticais, direções horizontais, diferenças de altitude, obtidas através do uso de Estações Totais, Teodolitos e Níveis. Sendo suas vantagens: fornecem o estado global de um corpo deformável; aquisição de dados de forma autônoma; possibilidade de monitoramento em ambientes fechados, como cavernas e minas. Desvantagens: o tempo para a coleta de observações (quando executado por um operador).

O monitoramento trata, pois, do acompanhamento e estudo, contínuo e sistemático, do comportamento de fenômenos, eventos e situações específicas, cujas condições desejam-se identificar, avaliar e comparar. Desta forma, é possível estudar as tendências ao longo do tempo, ou seja, verificar as condições presentes, projetando situações futuras.

Neste trabalho serão estudadas as técnicas geodésicas convencionais, empregando-se Estações Totais.

2.2 ESTAÇÕES TOTAIS

De maneira geral pode-se dizer que uma Estação Total nada mais é do que um teodolito eletrônico (medida angular), um distanciômetro eletrônico (medida linear) e um processador matemático, associados em um só conjunto. Segundo a NBR

13.133/94, são classificadas de acordo com os seus desvios-padrão, conforme a Tabela 1.

Estes equipamentos medem direções horizontais, ângulos verticais, assim como as distâncias inclinadas. Destes dados podem ser calculadas distâncias horizontais, elevações e coordenadas dos pontos visados.

TABELA 1 - CLASSIFICAÇÃO DAS ESTAÇÕES TOTAIS

Classificação de Estações Totais	Desvio-Padrão Precisão Angular	Desvio-Padrão Precisão Linear
1 - Precisão Baixa	$\leq \pm 30''$	$\pm (5 \text{ mm} + 10 \text{ ppm} \times D)$
2 - Precisão Média	$\leq \pm 07''$	$\pm (5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm} \times D)$
3 - Precisão Alta	$\leq \pm 02''$	$\pm (3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm} \times D)$

FONTE: ABNT NBR 13.133, 1994

As estações possuem dois círculos graduados, montados em planos mutuamente perpendiculares e apresentam um sistema de três eixos fundamentais, a saber:

- a) Eixo vertical ou principal - tem como finalidade garantir que a rotação do equipamento em torno deste eixo coincida com a rotação em torno do centro do círculo graduado horizontal (KAHMEN e FAIG, 1988);
- b) Eixo horizontal ou secundário - Eixo perpendicular ao eixo vertical e sob o qual se bascula a luneta. A linha que materializa o eixo horizontal é também normal ao eixo de colimação ou linha de sinal do instrumento. A luneta é posicionada no centro do eixo horizontal e o suporte deve permitir o máximo movimento vertical da luneta (KAHMEN e FAIG, 1988);
- c) Eixo de colimação ou linha de visada - este eixo deve coincidir com o eixo óptico da luneta e ser perpendicular ao eixo horizontal (DIÓPTRA, 2000).

Antes de medir ângulos, a estação é nivelada de modo que seu círculo horizontal esteja posicionado em um plano horizontal, o que automaticamente posiciona o círculo vertical em um plano vertical. As direções horizontais e os ângulos verticais podem então ser medidos diretamente em seus planos de referência respectivos. As versões mais novas de Estações Totais utilizam-se de compensadores automáticos (compensadores de dois eixos), os quais serão descritos no próximo item.

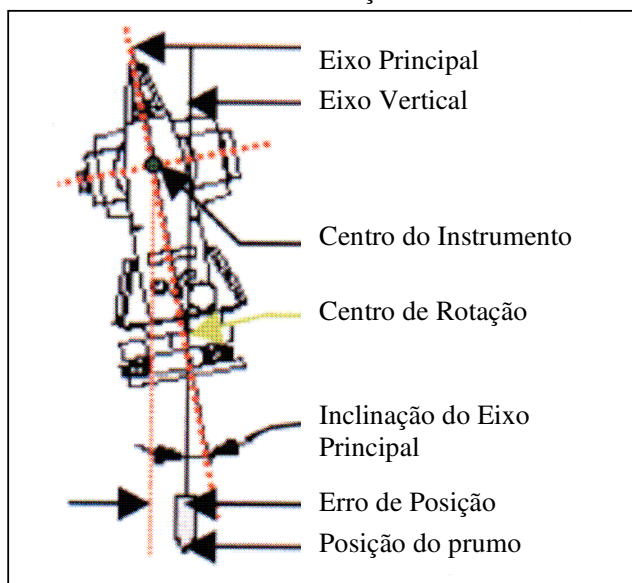
2.2.1 Compensadores Automáticos – Compensadores de dois eixos

Um equipamento não nivelado, verificado e retificado pode conduzir a três tipos de erros (PAIVA e STENMARK, 2002):

- a) Erro de posição;
- b) Erro no ângulo vertical;
- c) Erro no ângulo horizontal.

O erro de posição é mostrado na figura abaixo:

FIGURA 5 - ERRO DE POSIÇÃO

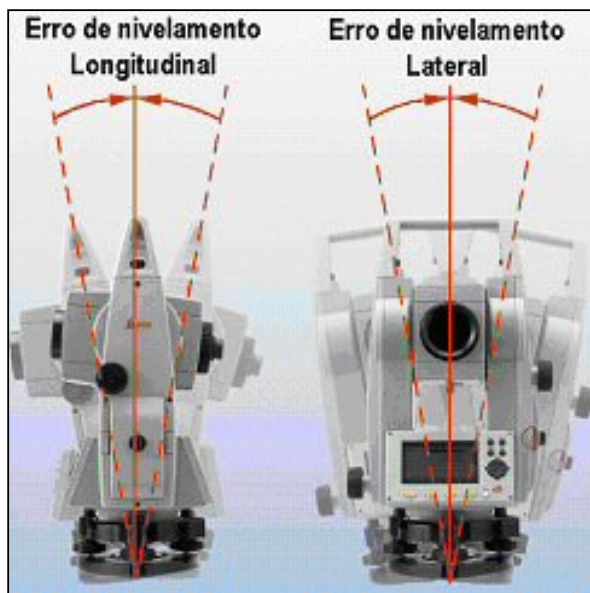


FONTE: PAIVA e STENMARK, 2002

Como o centro de rotação horizontal da estação está localizado na base do instrumento, um não nivelamento de 1' irá causar um desvio de somente 0,05 mm do centro da luneta ao centro da base nivelante e 0,5 mm do centro da luneta ao solo (com o instrumento a 1,5 m do solo). Este erro na prática pode ser desconsiderado em alguns tipos de monitoramento (PAIVA e STENMARK, 2002).

Mas um não nivelamento causa erros nas medidas dos ângulos horizontais e verticais que não podem ser eliminados mesmo com medições nas posições direta e inversa (figura 6).

FIGURA 6 - ERROS DE NIVELAMENTO DA ESTAÇÃO



FONTE: PAIVA e STENMARK, 2002

De acordo com PAIVA e STENMARK (2002), um erro de nivelamento lateral afeta as medições do ângulo horizontal causando um erro no alinhamento. Em visadas com o ângulo vertical próximo ao horizonte o erro no alinhamento praticamente não existe, porém quanto maior for o ângulo vertical maior será o erro de alinhamento (exemplo: a 45° vertical, 1' de erro lateral causa 1' de erro de alinhamento). Os ângulos horizontais podem ser corrigidos somente com o compensador de dois eixos ativado.

Um erro de nivelamento longitudinal irá causar um erro correspondente nas medições do ângulo vertical. A inclinação do instrumento no sentido longitudinal gera um erro de um para um nas medições do ângulo vertical. Então ao se apontar a luneta para o horizonte a leitura do ângulo vertical que deveria ser de 90° poderá ser maior ou menor dependendo do erro.

De acordo com NARUMI (2000), “o compensador das Estações Totais tem a função de corrigir automaticamente os ângulos vertical e horizontal quando o instrumento encontra-se desnivelado. Existem dois tipos de compensadores para Estações Totais):

- a) Simples: Corrige o ângulo vertical (direção X);
- b) Duplo (dois eixos): Corrige os ângulos vertical e horizontal (direção X e Y)”.

Além dos erros provocados pelo não nivelamento do equipamento, muitos outros fatores afetam a precisão das medições de uma Estação Total. A discussão de alguns destes erros será apresentada a seguir.

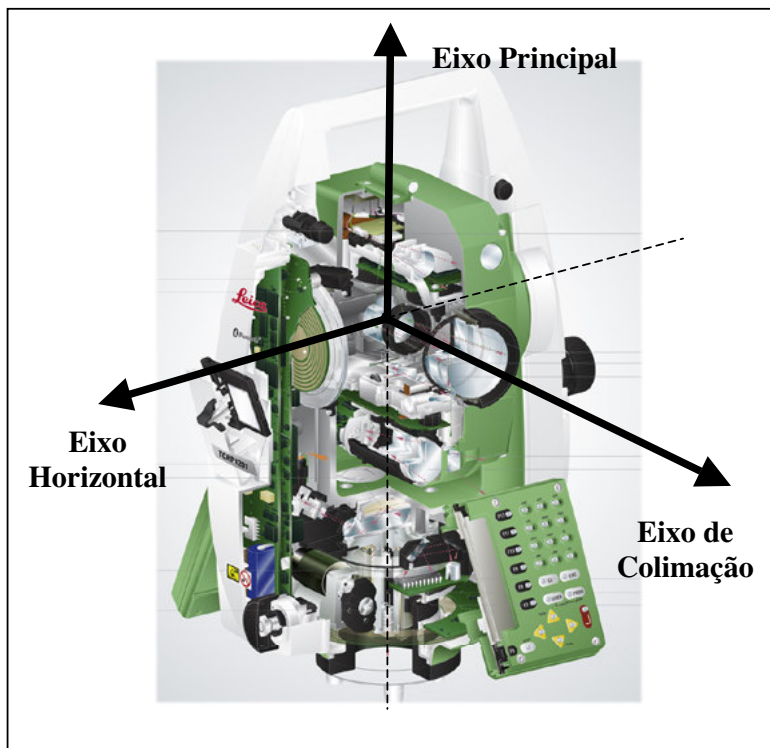
2.3 ERROS QUE AFETAM AS MEDIDAS ANGULARES

Como exposto na seção 2.2, um instrumento em condições ideais de funcionamento deve atender as seguintes relações entre seus eixos (figura 7):

- a) o eixo principal deve ficar na vertical quando a bolha dos níveis estiver calada;
- b) o eixo de colimação deve ser normal ao eixo horizontal ou secundário;
- c) o eixo horizontal deve ficar na horizontal quando o instrumento estiver calado e normal ao eixo principal.

Quando tais condições não são completamente satisfeitas, seus efeitos acarretam os chamados erros de eixo do equipamento, que não podem ser desprezados nas medidas angulares.

FIGURA 7 - SISTEMAS DE EIXO DA ESTAÇÃO TOTAL



FONTE: ADAPTADO DE LEICA-GEOSYSTEMS, 2007

A seguir, na Tabela 2, serão descritos sucintamente os principais erros que podem afetar as medidas angulares, as informações para a elaboração da tabela encontram-se nas seguintes referências: DEUMLICH (1982), KAHMEN e FAIG (1988) e MEDINA (1998).

Demais erros nas medidas angulares podem ser consultados em JORDAN (1981), DEUMLICH (1982), KAHMEN e FAIG (1988), WOLF e GHILANI (2002), entre outros.

TABELA 2 – ERROS QUE PODEM AFETAR AS MEDIDAS ANGULARES

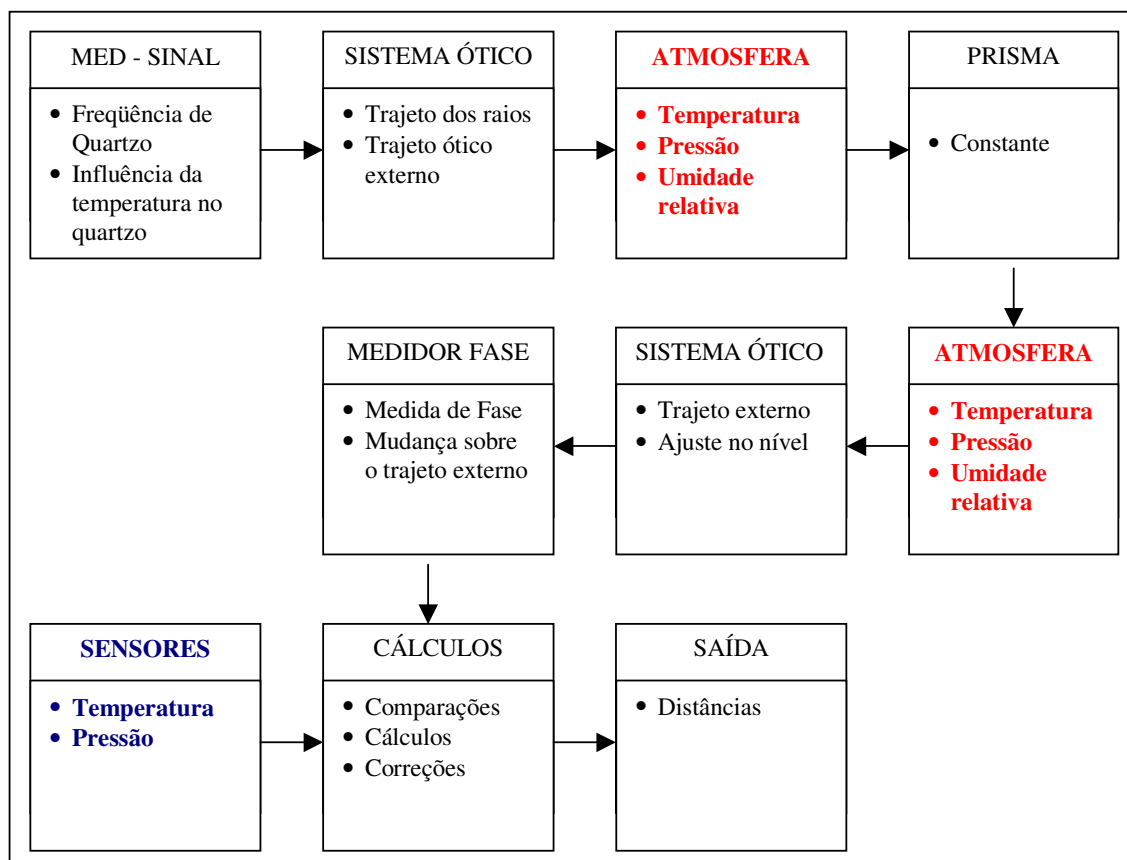
TIPO DE ERRO	CAUSA	MINIZAÇÃO DE SEU EFEITO
Erro devido à inclinação do eixo de colimação	Este erro é causado pela falta de perpendicularidade entre o eixo de colimação ou linha de visada e o eixo secundário ou de rotação da luneta. A não ocorrência de perpendicularidade entre os eixos citados causa um erro na medida das direções horizontais.	Realizando observações nas duas posições da luneta (PD e PI).
Erro devido a não horizontalidade do eixo secundário	Este erro ocorre pela falta de perpendicularidade entre o eixo secundário (eixo de rotação da luneta) e o eixo principal (eixo de rotação do teodolito). Causado por um desvio chamado i , do eixo mecânico de rotação da luneta com a linha perpendicular ao eixo principal, que é o eixo de rotação do limbo horizontal. Este erro afeta indiretamente as medidas de direções horizontais, pois se projeta no limbo horizontal.	Realizando observações nas duas posições da luneta (PD e PI).
Erro devido a não verticalidade do eixo principal	Também denominado de erro do eixo vertical, ocorre quando o eixo principal não coincide com a direção da vertical que passa pelo centro do equipamento.	Nos teodolitos eletrônicos e nas estações totais que dispõe de compensadores eletrônicos, a correção desse erro é feita de forma automática. Isto ocorre desde que a inclinação do mesmo esteja dentro da margem de operação do instrumento.
Erro devido à oscilação do eixo vertical	Proporciona um oscilação no eixo vertical e é detectado com auxílio de níveis precisos, ou autocolimador utilizando um espelho na parte superior do instrumento.	Realizando observações nas duas posições da luneta (PD e PI). Exceto quando as pontarias são muito inclinadas.
Erro devido à Excentricidade do limbo ou alidade	Este erro ocorre durante o processo de fabricação e montagem do teodolito. O ponto da rotação do limbo graduado é apenas geometricamente definido como o centro da graduação, mas não coincidem, e também são diferentes do centro de rotação do teodolito. Assim as leituras do limbo não correspondem à rotação do teodolito, e podem corresponder a um acréscimo ou decréscimo na leitura.	Realizando observações nas duas posições da luneta (PD e PI).
Erros de graduação do limbo	Produzido pela imprecisão durante o processo de gravação do limbo. Estes erros podem ser regulares ou irregulares, e também podem ser causados por grandes variações de temperatura (dilatação do limbo).	Realizando observações utilizando partes distintas do limbo e distribuídas adequadamente, utilizando reiteração em teodolitos reiteradores e repetição em teodolitos repetidores.

FONTE: SILVA, 2006

2.4 ERROS NAS MEDIDAS DE DISTÂNCIA

A figura 8 apresenta as influências que o sinal da estação sofre ao completar o trajeto estação – prisma – estação, para obtenção das distâncias.

FIGURA 8 - INFLUÊNCIA DO SINAL NAS MEDIDAS DE DISTÂNCIA COM ESTAÇÕES TOTAIS ZEISS



FONTE: ADAPTADO DE KRICKEL, 2004

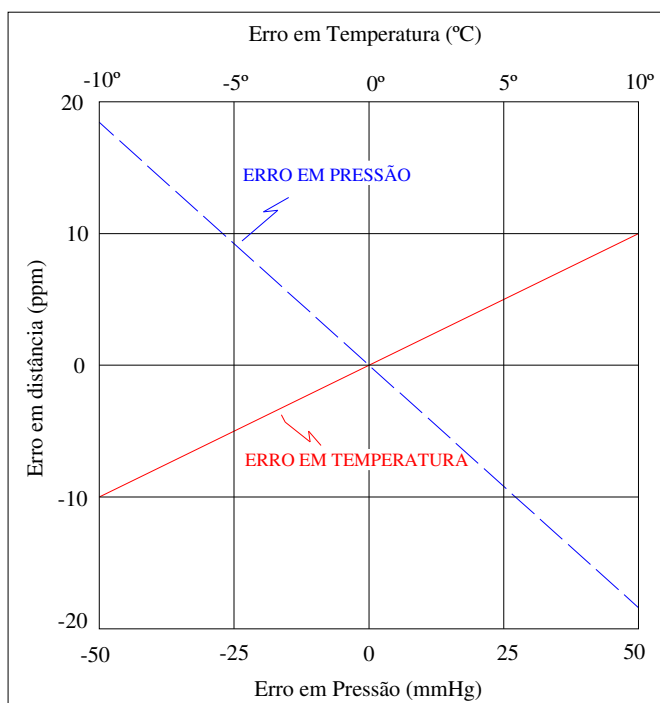
Como pode ser observado na figura 8, um dos fatores que causa influência nas medidas de distâncias são os atmosféricos (pressão, temperatura e umidade). Esse fator afeta o sinal durante o trajeto que ele faz do equipamento até o prisma e durante o retorno do sinal de medida pelo prisma.

Sabe-se, que a velocidade de propagação da luz utilizada para determinar a distância entre dois pontos é no vácuo, tendo em vista que é a única passível de ser

determinada por procedimentos físicos. Porém, a que interessa é a velocidade de propagação no meio. Para realizar esta transformação, o fabricante determina um índice de refração em laboratório. Mesmo assim continua sendo necessária a medida de temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica no momento das observações, devido ao índice de refração determinado em laboratório não ser o mesmo do local onde está sendo efetuada a medição, e com estes valores realizar a correção para o local de medição (FAGGION, 2001).

As variações nas condições atmosféricas causam um aumento ou diminuição da velocidade de propagação da onda eletromagnética e provocam conseqüentemente, os erros sistemáticos nas medidas de distâncias (FAGGION, 2001). Isto pode ser visto na figura 9, onde nota-se que um erro de medição de 10° em temperatura, ou uma diferença de pressão de 25 mmHg, provoca um erro na distância de aproximadamente 10 ppm.

FIGURA 9 - ERROS EM MED PROVOCADOS POR VARIAÇÕES EM TEMPERATURA E PRESSÃO



FONTE: ADAPTADO DE WOLF, 2002

Devido a esta influência faz-se necessário corrigir as medidas efetuadas de tais fatores. Esta correção pode ser obtida das seguintes maneiras (FAGGION, 2001):

- a) Utilizando o ábaco que acompanha o manual do equipamento onde as informações necessárias para se obter a correção em parte por milhão (ppm) são a temperatura e a pressão;
- b) Utilizando as fórmulas que acompanham o manual do equipamento. Neste caso as informações necessárias são a temperatura, pressão e umidade relativa;
- c) Utilizando as fórmulas adotadas pela IUGG, citadas em RÜEGER (1996), para redução de medidas efetuadas em levantamento de alta precisão.

Experimentos realizados por ROBERTSON (1972) e ANGUS-LEPPAN (1972), mostraram que os comprimentos de pares de linhas, simultaneamente observados de um ponto comum, estão sujeitos a erros sistemáticos semelhantes devido a incertezas nos parâmetros meteorológicos. Assumindo que estes erros são aproximadamente proporcionais aos comprimentos das linhas, na relação de dois comprimentos medidos da mesma estação ao mesmo tempo, a maior parte deste erro sistemático é eliminada, contanto que os perfis do terreno e as condições de superfície sob as linhas sejam semelhantes, este é o conceito central do Método de Relação de Comprimentos (CROSS, 1976).

Em vista disso, um método alternativo derivado das relações de comprimento que será utilizado neste trabalho é o Método de Relação da Linha de Referência, citado em US ARMY (2002), que consiste na medida de distância entre alguns pontos fixos, onde a distância é conhecida de forma que um fator de escala possa ser calculado diretamente e empregado para corrigir as medidas restantes.

2.4.1 Correções Atmosféricas - fórmula existente no manual do equipamento

Como exemplo é apresentada a equação fornecida pelo fabricante da Estação Total Zeiss Elta S20 (ZEISS, 2001):

$$K_w = 281,8 - \left[\frac{0,29065}{1 + \alpha t} P - \frac{4,126 \cdot 10^{-4} \cdot h}{1 + \alpha t} E \right] \quad (1)$$

onde:

$$E = 10^{\frac{7,5t}{t+237,3} + 0,7857}$$

K_w - correção atmosférica em ppm;

P - pressão atmosférica em hPa;

t - temperatura em (°C);

h - é a umidade relativa (%);

α - constante que vale 1/273,16.

Normalmente cada fabricante apresenta a fórmula a ser empregada com seu instrumento em função de características particulares do mesmo. Também são normalmente apresentados nos manuais ábacos que permitem obter o valor de conexão a partir da temperatura seca e pressão, sendo estes construídos para um determinado valor de umidade.

2.4.2 Correções Atmosféricas - fórmulas adotadas pela IUGG

As correções atmosféricas podem ser calculadas por outras fórmulas, tais como as adotadas pela IUGG, citadas em RÜEGER (1996). Onde a correção é dada por:

$$d = \left(\frac{n_R}{n_L} \right) d_M \quad (2)$$

onde: d - distância corrigida;
 n_L - índice de refração do ambiente;
 n_R - índice de refração de referência;
 d_M - distância medida

A redução é essencialmente uma aplicação do fator de escala n_R/n_L para a distância medida. O fator de escala relaciona o índice de refração de referência do instrumento com o índice de refração baseado nas condições atmosféricas ambientes. O índice de refração do ambiente (n_L) é dado por:

$$n_L = 1 + \left[\frac{(A + B)}{1.10^8} \right] \quad (3)$$

sendo:

$$A = \left\{ \left[1646386,0 \cdot \left(\frac{238,0185 + \sigma^2}{(238,0185 - \sigma^2)^2} \right) \right] + \left[47729,9 \cdot \left(\frac{57,362 + \sigma^2}{(57,362 - \sigma^2)^2} \right) \right] \right\} \cdot D_s \quad (4)$$

$$B = [6487,31 + 174,174 \sigma^2 - 3,55750 \sigma^3 + 0,61957 \sigma^6] \cdot D_w \quad (5)$$

$$D_s = \left(\frac{P_s}{T} \right) \cdot \left[1 + P_s \cdot \left(57,90 \cdot 10^{-8} - \left(\frac{9,325 \cdot 10^{-4}}{T} \right) + \left(\frac{0,25844}{T^2} \right) \right) \right] \quad (6)$$

$$D_w = \left(\frac{P_w}{T} \right) \cdot \left[1 + P_w \cdot \left(1 + (3,7 \cdot 10^{-4} P_w) \right) \cdot \left(-2,37321 \cdot 10^{-3} + \left(\frac{2,23366}{T} \right) - \left(\frac{710,792}{T^2} \right) + \left(\frac{7,75141 \cdot 10^{-4}}{T^3} \right) \right) \right] \quad (7)$$

onde:

$$\sigma = 1/\lambda;$$

- λ - comprimento de onda do instrumento;
- P - pressão atmosférica total em mbar;
- P_W - pressão do vapor d'água parcial em mbar;
- P_S - $P - P_W$;
- T - Temperatura em Kelvin

O valor do índice de refração de referência n_R é obtido das especificações do fabricante para uma Estação Total dada. A pressão do vapor d'água (P_W) também é necessária para a determinação do índice de refração, pode ser derivada de leituras de temperatura seca e úmida coletadas de psicômetros:

$$P_W = \left(\left(1,0007 + \left((3,46 \cdot 10^{-6}) \cdot P \right) \right) \cdot 6,1121 \exp \left(\frac{17,502 \cdot t_W}{240,97 \cdot t_W} \right) \right) - \left[(0,000662 \cdot P \cdot (t_D - t_W)) \right] \quad (8)$$

onde:

- P - pressão em mbar;
- t_W - temperatura úmida (°C);
- t_D - temperatura seca (°C).

2.4.3 Método de Relação de Comprimentos

Nas linhas medidas por MED, a relação de dois comprimentos, medidos da mesma estação e ao mesmo tempo, tenderá a ser mais constante que os comprimentos reais. A razão é que certos erros, os causados por incertezas nos parâmetros atmosféricos, são proporcionais ao comprimento das linhas; e, portanto, eliminados na relação dos comprimentos (ROBERTSON, 1977).

A idéia de usar relações de distâncias medidas para eliminar fontes de erro não é nova. Foi defendida primeiramente para a eliminação de efeitos instrumentais. A

aplicação do método de relação para reduzir os efeitos de parâmetros atmosféricos foi defendida primeiramente por ROBERTSON (1972). Ele usou o Geodolite, um instrumento MED, estimado para ter um erro instrumental de menos que $1\text{mm} + 0,5\text{ppm}$, com uma precisão tão alta, a atenção poderia ser focada em outras fontes de erro. Tornou-se aparente que as medidas feitas ao mesmo tempo e da mesma estação, estavam sujeitas ao mesmo erro sistemático proporcional (ANGUS-LEPPAN, 1979).

Segundo ANGUS-LEPPAN (1979), embora comprimentos repetidos na mesma linha diferissem de até 6ppm , as relações de medidas feitas dentro de alguns minutos eram constantes, geralmente melhores que 1ppm . Cada série de medidas parecia estar sujeita a um fator de escala. A fim de trazê-los a uma base comum, uma linha de referência foi usada num ponto não sujeito a movimento. Cada distância, medida em um momento particular t , foi multiplicada então por um fator: comprimento padrão da linha de referência sobre o seu comprimento medido na ocasião, t , obtendo assim, as distâncias corrigidas.

O conceito deu origem a várias publicações e dependendo do método de aplicação, foram definidos vários nomes: uso de pares de linhas, relações de comprimento, observação de trilateração em pares, relação da linha de referência. Neste trabalho, foi adotado o Método de Relação da Linha de Referência.

2.4.3.1 Método de Relação da Linha de Referência

As medidas de distâncias determinadas com Estações Totais sofrem influência de diversos fatores, dentre eles, a refração e o erro de escala. Estes podem ser minimizados entre duas épocas de levantamentos, sem que seja necessário o cálculo de correções, pela aplicação do Método “Relação da Linha de Referência”.

Segundo ROBERTSON (1972 e 1977), ANGUS-LEPPAN (1972 e 1979) e US ARMY (2002), este método baseia-se no fato de que medidas de distâncias observadas sobre comprimentos de linhas e condições atmosféricas semelhantes, são igualmente afetadas pela refração. Se as medidas são observadas inicialmente entre

duas estações de controle (linha de referência) separadas por uma distância conhecida, da relação entre a distância medida e a conhecida resultará num fator de escala.

A distância para qualquer outra estação poderá ser corrigida em função da escala determinada para a linha de referência. Isso também é válido para levantamentos realizados em qualquer época posterior, onde as condições atmosféricas serão diferentes, mas a relação entre a linha de referência e a linha medida poderá ser usada para encontrar mudanças nas relações de suas distâncias. Sendo assim, não é necessário determinar explicitamente o erro de escala ou índice de refração do equipamento ao usar este método (US ARMY, 2002).

Segundo ROBERTSON (1972 e 1977), ANGUS-LEPPAN (1972 e 1979) e US ARMY (2002), as técnicas para minimizar erros de índice de refração em medidas usando relações ou linhas de referência, devem respeitar duas regras, a saber:

- a) Erros de índice de refração, determinados através de medidas de temperatura e pressão, tendem a ser os mesmos para todas as linhas medidas a partir de um ponto, dentro de um curto período de tempo (inferior ou igual a 30 minutos);
- b) As relações das distâncias observadas, medidas de um ponto dentro de um curto período de tempo (inferior ou igual a 30 minutos), são constantes.

2.4.3.1.1 Relações corrigidas e observadas

De acordo com ROBERTSON (1972) e US ARMY (2002), existem dois tipos de relações, as corrigidas (mais precisas) e as observadas. Quando são formadas relações de medidas que foram corrigidas do índice de refração, elas serão chamadas relações corrigidas. Ângulos podem ser calculados diretamente dessas relações usando uma fórmula de cosseno modificada, estes serão mais precisos do que os determinados a partir dos comprimentos, para maiores esclarecimentos, consultar US ARMY (2002).

Já as relações observadas podem ser obtidas das mesmas medidas usando os dados antes da aplicação das correções de índice de refração, ou seja, são formadas com linhas que não foram corrigidas de temperatura e pressão.

Como visto na seção 2.4.3, esta relação é considerada constante. Isto significa que a relação observada de duas linhas medidas hoje concordará com a relação observada das mesmas duas linhas medidas meses ou anos depois. Como não muda com o tempo, esta relação pode ser utilizada para detectar mudanças em posição.

O procedimento para aplicação do Método de Relação da Linha de Referência será apresentado no decorrer do trabalho.

2.5 USO DE PONTOS DE CONTROLE PARA AUXILIAR NO MONITORAMENTO DE DESLOCAMENTOS DA ESTAÇÃO TOTAL

Com o advento do reconhecimento automático de alvos em estações totais, o uso de medidas polares para o monitoramento de mudanças em estruturas, minas, superfícies naturais, dentre outros, tornou-se mais difundido.

Para simplificar a detecção de movimento dos alvos monitorados, as Estações Totais são instaladas em locais que possam garantir que as coordenadas obtidas permaneçam em uma rede de referência consistente, ou seja, as Estações são instaladas em locais permanentes (pilares de centragem forçada) ou em locais que garantam a estabilidade do instrumento, sendo posteriormente niveladas para alinhar seu eixo principal com a direção da gravidade local.

Segundo VAN CRANENBROECK e BROWN (2004), quando tal nivelamento não é possível, contorna-se tal dificuldade, por meio de um conjunto de pontos de controle, distribuídos ao redor da área, os quais são utilizados para monitorar a posição do instrumento. A partir de medições nos pontos de controle, considerados estáveis, é possível calcular valores de translação e rotação (deslocamento) em relação a uma posição inicial do instrumento. Pontos de controle

são usados, também, para conferir o ciclo completo de medidas e impor confiabilidade.

Se várias estações totais são utilizadas para aumentar a cobertura ou a confiabilidade, os pontos de controle são também usados para ligar todas as estações a uma rede de referência comum. Para uma única Estação Total, o problema é aplicação de transformação 3D, conhecida como transformação de Helmert. Quando são utilizadas várias estações para levantar todos os pontos de interesse, o único modo para evitar a multiplicação de pontos de controle é fazer uso de pontos comuns (conexão). São acrescentados parâmetros ao modelo matemático que relaciona as medidas aos pontos comuns para a transformação (VAN CRANENBROECK e BROWN, 2004).

2.6 SISTEMAS DE REFERÊNCIA

O controle geométrico e o monitoramento do objeto de estudo (objetos naturais ou artificiais), somente serão possíveis quando os sistemas de referência forem devidamente definidos (SEIXAS, 2005). A escolha de um sistema de referência adequado é um dos problemas encontrados nos trabalhos de levantamentos referentes a mensuração e implantação de pontos para posicionamento em Engenharia (NADAL, 2000).

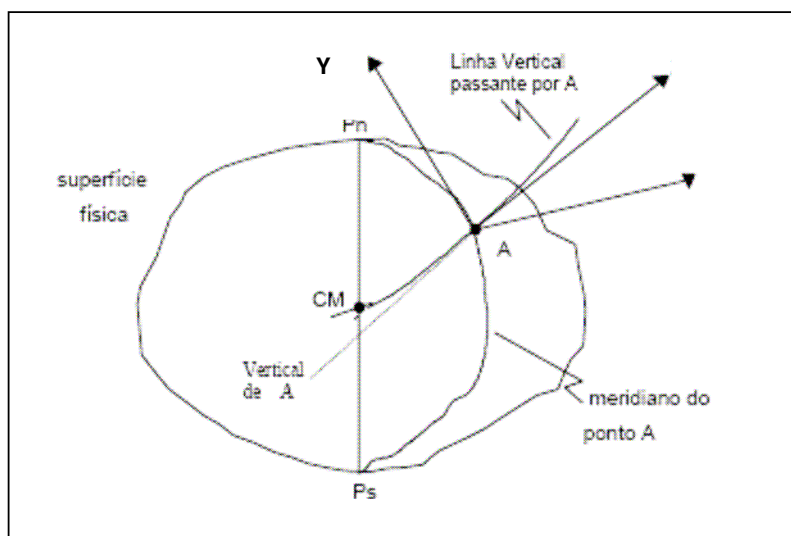
Os sistemas locais, materializados, por exemplo, por uma Estação Total, são úteis para levantamentos aplicados à Engenharia. No entanto, tais levantamentos devem ser, via de regra integrados a sistemas de referência globais, tais como aqueles realizados a partir do GPS também ferramenta usual de trabalho do engenheiro. Esta é uma situação bem presente com a qual o engenheiro se defronta, neste caso devem ser consideradas as características intrínsecas de cada sistema de referência, os erros sistemáticos associados com suas realizações, bem como suas integrações. Se não forem tomados estes cuidados grande parte da pontencialidade dos instrumentos em termos de precisão é perdida (NADAL, 2000).

2.6.1 Sistema Local de Referência

Segundo NADAL (2000), em obras de engenharia o sistema de referência adotado é o sistema local (figura 10), o qual consiste num terno de eixos ortogonais cartesianos, com origem arbitrária num ponto topográfico definido e com orientação dextrógira, com um dos eixos definido pela vertical do ponto considerado com sentido positivo para fora da superfície, e outro coincidente com a tangente ao meridiano instantâneo materializado no ponto e sentido positivo para o ponto cardeal norte.

Naturalmente o terceiro eixo estará contido na linha leste-oeste com sentido positivo para leste. Este sistema meramente convencional, muitas vezes é associado a um sistema terrestre para representação cartográfica, e na maioria das vezes sem as devidas correções inerentes a projeção cartográfica (NADAL, 2000).

FIGURA 10 - SISTEMA LOCAL DE REFERÊNCIA



FONTE: NADAL, 2000

Na topografia tradicionalmente utiliza-se este sistema de forma simplificada, ou seja, escolhe-se um ponto da superfície terrestre origem dos levantamentos, e aplica-se este sistema. Considera-se uma porção limitada da superfície como plana de forma que o sistema escolhido é único para todo o levantamento, no denominado plano topográfico local (NADAL, 2000).

Segundo NADAL (2000), a norma técnica NBR 13133 introduz o conceito de projeção topográfica ou sistema topográfico local para a representação de medições efetivadas na superfície física da Terra. As características principais deste sistema são: as projetantes são ortogonais à superfície de projeção; a superfície de projeção é um plano normal à vertical do lugar no ponto da superfície terrestre considerado como origem dos levantamentos, sendo o referencial altimétrico referido ao datum vertical brasileiro; as deformações máximas inerentes a desconsideração da curvatura terrestre e da refração atmosférica são fornecidas; o plano de projeção tem dimensões máximas limitadas a 80 km a partir da origem; a localização planimétrica dos pontos é feita por um sistema cartesiano como definido anteriormente. Em problemas especiais como locações de grandes obras, controle de movimentos e recalques em construções, trabalhos com estruturas deslocáveis, ou com estruturas sujeitas a vibrações e outras, há a necessidade de um estudo visando estabelecer um sistema passível de repetibilidade e confiabilidade, ou a associação do sistema local a um sistema global (NADAL, 2000).

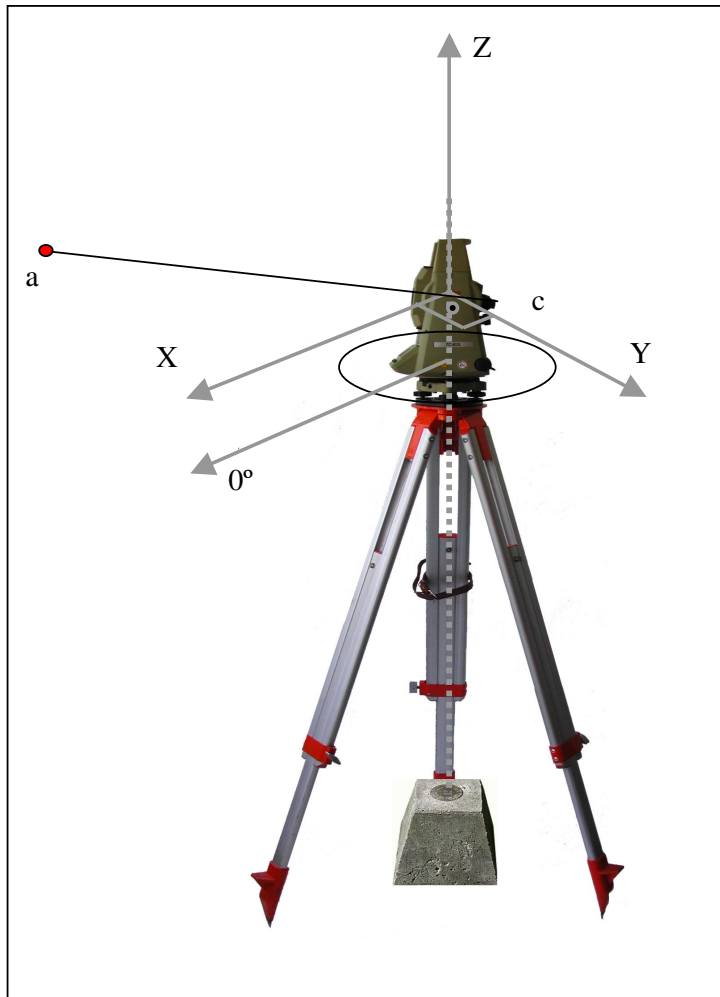
2.6.2 Sistema de Coordenadas Instrumentais

Uma vez escolhido um sistema de referência, não é possível obter de forma direta coordenadas de pontos sobre o mesmo, uma vez que se utilizam instrumentos os quais realizam medições em relação a um sistema interno, denominado de sistema de coordenadas instrumentais.

Seja uma Estação Total, onde se pode associar ao centro do instrumento (c) um sistema de eixos cartesianos ortogonais mostrados na figura 11. O eixo dos z coincide com o eixo principal da estação, o eixo dos x contido no plano do horizonte paralelo a direção zero graus do limbo horizontal e o eixo dos y perpendicular ao eixo dos x no sentido dextrógiro ou levógiro conforme o selecionado no sistema de leituras. O plano xy deve conter o eixo de basculamento da luneta, também denominado de eixo secundário (y). A linha de visada materializará uma direção medida no terreno.

Ter-se-á ainda condições intrínsecas de associação deste sistema à superfície terrestre, quais sejam: o eixo principal da estação deve coincidir com a vertical do lugar, o plano xy do sistema deve ser horizontal e a linha de visada (ca) deve ser uma reta e coincidir com o eixo óptico da luneta (NADAL, 2000).

FIGURA 11 - SISTEMA DE COORDENADAS INSTRUMENTAIS

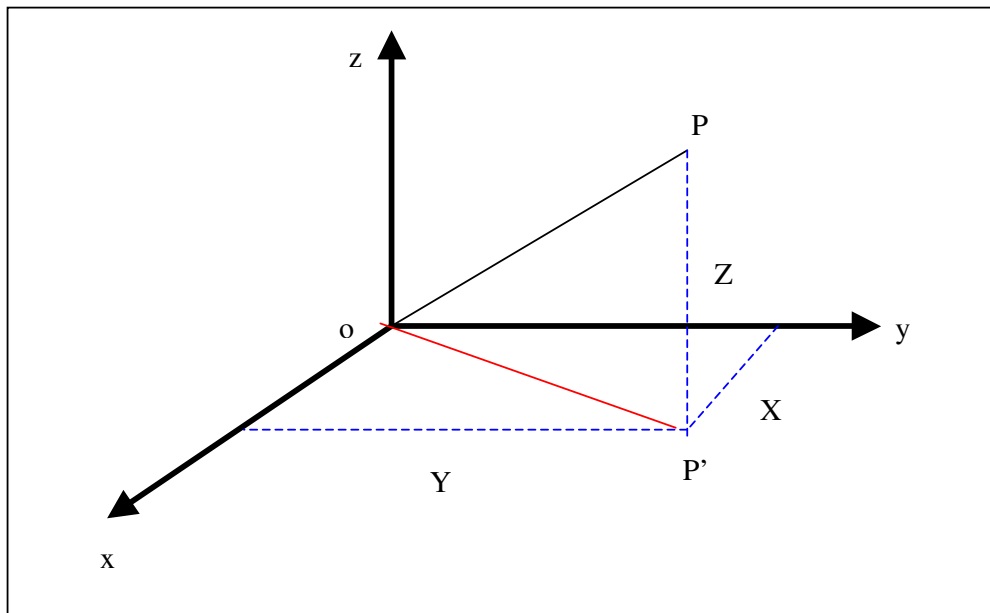


Três eixos (retas orientadas) ortogonais entre si formam um sistema de coordenadas tridimensionais ortogonal, que serve para posicionar um ponto topográfico, isto é, fornecer coordenadas espaciais que definam a posição deste ponto no espaço.

Um ponto fica de forma única definido no espaço através de suas coordenadas cartesianas ortogonais (X, Y, Z), figura 12, sendo X denominada de abscissa (distância

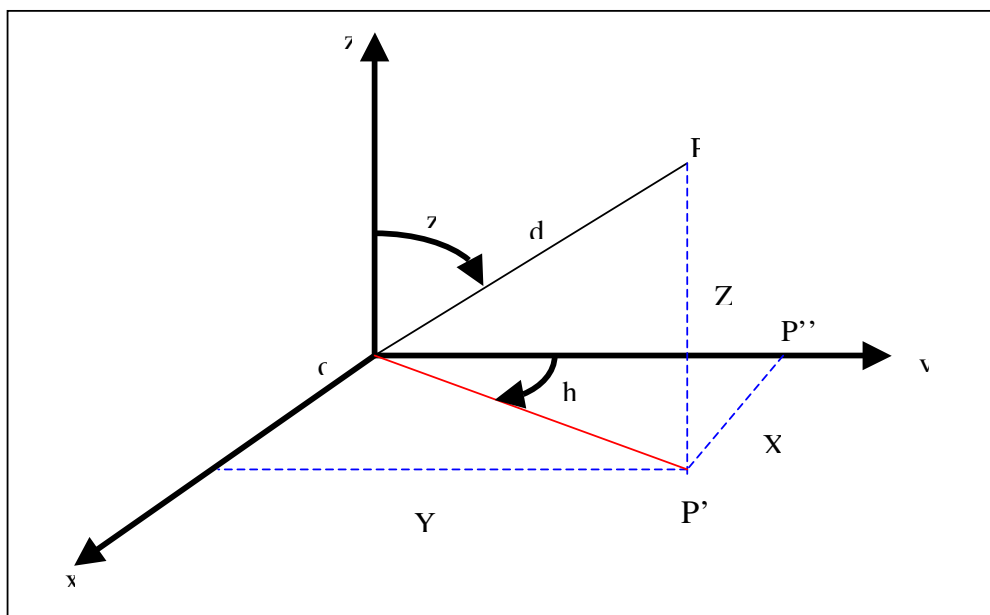
do ponto P' , que é a projeção do ponto P no plano xy , ao eixo dos y), Y denominada de ordenada (distância do ponto P' ao eixo dos x) e Z denominada de cota que é a distância vertical do ponto P ao plano xy .

FIGURA 12 - POSICIONAMENTO DE UM PONTO EM UM SISTEMA DE COORDENADAS CARTESIANAS ORTOGONAIS TRIDIMENSIONAL DEXTRÓGIRO



Nos sistemas de coordenadas cartesianas tridimensionais trabalha-se com coordenadas polares, muitas vezes denominadas de coordenadas esféricas ou cilíndricas. Estas coordenadas, são: ângulo horizontal (h) medido no plano xy , ângulo zenital (z) medido no plano que contem o eixo z e o ponto considerado e a distância inclinada (d) contada da origem do sistema ao ponto considerado, figura 13.

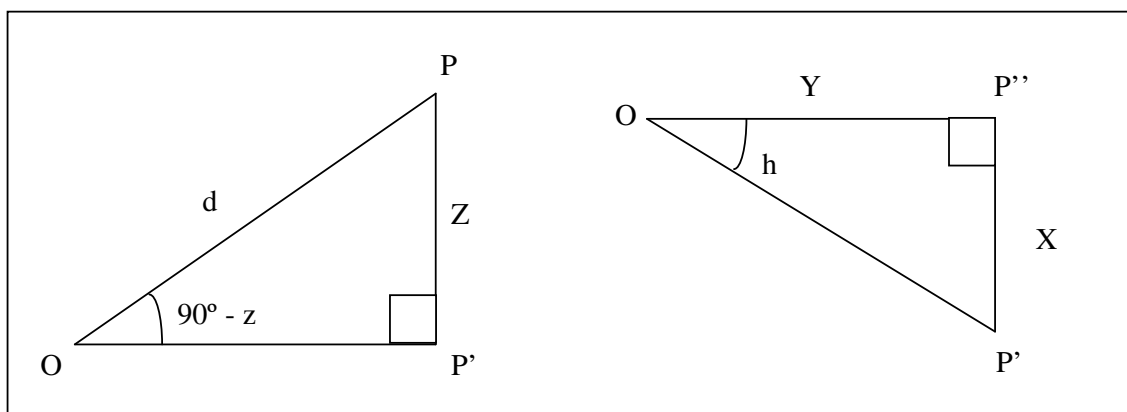
FIGURA 13 - COORDENADAS CILÍNDRICAS E CARTESIANAS DO PONTO P



Na figura 14, observam-se os triângulos retângulos OPP' e $OP'P''$. Do triângulo OPP' retira-se diretamente o valor do cateto PP' que é igual a ordenada Z , assim tem-se:

$$Z = d \cdot \cos z \quad (9)$$

FIGURA 14 - TRIÂNGULOS UTILIZADOS NAS TRANSFORMAÇÕES



Do triângulo $OP'P''$ que tem OP' como lado comum com o triângulo OPP' extrai-se o valor dos catetos OP'' que é igual a ordenada Y e o cateto $P'P''$ que é igual

a abcissa X , tem-se então, para um sistema dextrógiro obtém-se as seguintes expressões:

$$X = d \cdot \sin z \cdot \sin h \quad (10)$$

$$Y = d \cdot \sin z \cdot \cos h \quad (11)$$

$$Z = d \cdot \cos z \quad (9)$$

Sabe-se que são muitas as dificuldades na materialização deste sistema, uma vez que no caso mais geral é quase-cartesiano devido a problemas construtivos e naturais. Em outras palavras o eixo principal não é vertical, o eixo secundário não é horizontal, portanto não é perpendicular ao eixo principal e no caso mais geral ambos não são coplanares. O mesmo acontece com o eixo óptico em relação ao eixo secundário. O ponto teórico de origem deste sistema é denominado de ponto cardã (NADAL, 2000).

2.7 AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES

Ao se determinar o valor de grandezas físicas, certos fatores tais como: limitação humana, imperfeição dos instrumentos e instabilidade das condições ambientais contribuem, inevitavelmente, para imperfeições das observações. Assim, dúvidas no resultado de uma medição induzem a necessidade de repetição de observações, sempre que se desejar uma medida confiável. Desta forma, obtém-se medições redundantes e discrepantes que geram um problema a ser resolvido; ou seja, extrair destas observações um resultado único que represente com confiança a grandeza medida. Segundo GEMAEL (1994), este problema é solucionado pelo ajustamento das medições que além de oferecer um resultado de maior confiabilidade, avalia a presença de erros grosseiros nas observações e estima a precisão da solução adotada. Por isso, o ajustamento constitui-se em uma ferramenta fundamental para a ciência, a engenharia e é, particularmente, indispensável para a mensuração.

De acordo com GEMAEL (1994), os casos mais simples de ajustamento ocorrem quando medições são efetuadas sobre as próprias grandezas incógnitas, ou seja, quando a observação é direta. Menos simples é o ajustamento condicional ou correlatos, em que as incógnitas de interesse ligam-se entre si por equações de condição. Outro caso é o ajustamento paramétrico, no qual as incógnitas procuradas são expressas por relações funcionais conhecidas. Por último, tem-se o caso geral, conhecido como modelo de ajustamento combinado, que se constitui na combinação dos dois modelos anteriores. Em quaisquer dos casos, procura-se livrar as observações das inconsistências inerentes a qualquer medição, ajustando-as e a seus parâmetros. Esse procedimento conduzirá a uma solução única, satisfazendo o modelo matemático escolhido.

O Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), proposto de forma independente por Legendre e por Gauss, é atualmente o método aceito pela Geodésia como critério mais adequado para o ajustamento de observações repetidas. Esse método consiste em aceitar como melhor estimativa das observações redundantes o valor que torne mínima a soma dos quadrados dos resíduos (GEMAEL, 1994).

2.7.1 Modelo Matemático

É um sistema teórico ou um conceito abstrato pelo qual se descreve um fenômeno físico ou uma série de eventos. Este modelo obviamente não representa fielmente o fenômeno real, mas apenas relaciona alguns aspectos ou propriedades que interessam à investigação. Os modelos matemáticos são artifícios muito usuais nas investigações científicas e tecnológicas, por que reproduzem, conceitualmente, as interligações entre as variáveis conhecidas e as desconhecidas de um fenômeno físico, de uma maneira simplificada e adequada aos cálculos (GEMAEL, 1994).

MIKHAIL e ACHERMANN (1976), afirmam ser os modelos matemáticos, frequentemente, compostos por dois elementos igualmente importantes: o modelo funcional e o modelo estocástico. O modelo funcional geralmente descreve as

propriedades determinísticas do fenômeno físico ou considerações sobre o evento. Por outro lado, o modelo estocástico descreve as propriedades não-determinísticas ou estocásticas (probabilísticas) das variáveis envolvidas, particularmente aquelas que representam as observações.

Na mensuração, particularmente em ajustamento usando o MMQ, alguns parâmetros desconhecidos não podem ser medidos diretamente, então é necessário formular modelos funcionais (funções) que relacionem tais parâmetros com as grandezas observáveis (VANICEK e KRAKIWSKY, 1986).

Atualmente, o modelo estocástico tem grande importância no ajustamento de observações devido à tendência moderna de substituir a idéia de “erros de observações” pelo conceito de “propriedades estatísticas das observações”. Assim, as observações passam a ser consideradas como amostras extraídas de uma população contínua, ou seja, uma variável aleatória com sua correspondente distribuição probabilística (GEMAEL, 1994).

2.7.2 Ajustamento de Observações pelo MMQ

O ajustamento de observações, como dito anteriormente, é um procedimento matemático que usa o princípio dos mínimos quadrados para tornar consistente um conjunto de observações redundantes e discrepantes. Classicamente, o ajustamento pelo MMQ pode ser feito utilizando modelos diferentes: Modelo Paramétrico e Modelo dos Correlatos (ou Condicional), ou ainda pela combinação desses dois modelos (Modelo Combinado). Evidentemente, quaisquer dos métodos chegam aos mesmos resultados. Os modelos, condicionais e paramétricos, diferenciam-se em alguns aspectos significativos ao longo de suas operações.

De acordo com DUPRAZ (1985), o Modelo dos Correlatos consiste do ajustamento das observações a um modelo matemático que utiliza equações de condição, através do qual se determinam as respectivas correções de cada observação.

As observações corrigidas são obtidas pela adição das correções às observações originais.

Por outro lado, o modelo paramétrico fundamenta-se na estimativa da variação dos parâmetros desconhecidos para obter esses mesmos parâmetros ajustados, ao fim do processo de compensação. Uma vantagem desse modelo é que as grandezas observadas são expressas em função dos parâmetros desconhecidos (incógnitas), que são as próprias coordenadas, no caso de redes em geral. Assim, a ligação das observações corrigidas ao sistema de referência é feita de maneira integrada durante o processo de ajustamento (DUPRAZ, 1985).

Nos dias atuais, esse modelo é mais usado devido à grande disponibilidade de recursos computacionais bem como pela facilidade e simplicidade na elaboração das equações de erro, apesar de serem numerosas (KAVOURAS, 1982).

O modelo condicional é mais indicado quando o grau de liberdade (diferença entre o número de observações e o número de incógnitas) é menor que o número de incógnitas. Esse modelo foi classicamente o mais usado até a popularização dos recursos computacionais, que possibilitaram a resolução de sistemas com grande número de equações (DUPRAZ, 1985).

2.7.3 Análise do Ajustamento

A avaliação do modelo estocástico é dada pela variância da observação de peso *a posteriori*, obtida por (GEMAEL, 1994):

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\mathbf{V}^T \mathbf{P} \mathbf{V}}{n - u} \quad (12)$$

onde:

V - vetor dos resíduos;

P - matriz dos pesos;

- n - número de equações;
 u - número de incógnitas,

e, em que a quantidade $n - u = S$, é chamada graus de liberdade ou número de observações superabundantes. Esta variância a *posteriori* calculada deve ser comparada com a variância a *priori* (estimada normalmente como unitária), mediante testes estatísticos, dos quais o mais usado é o de Qui-Quadrado (χ^2).

Na aplicação do teste de χ^2 supõem-se uma hipótese H_0 , que se contrapõe a uma hipótese alternativa H_1 . A hipótese H_0 , denominada por hipótese nula, pode ser rejeitada ou não ser rejeitada, considerando um determinado nível de significância α .

Se a variância a *priori* e a variância a *posteriori* (σ_0^2 e $\hat{\sigma}_0^2$), forem estatisticamente iguais, dentro de um certo nível de significância α , diz-se que a qualidade do ajustamento é boa, se houver discrepância significativa, dentro desse mesmo nível de confiança $1-\alpha$, isso indica que existem problemas no ajustamento (GEMAEL, 1994).

A forma quadrática $V^T \Sigma_{Lb}^{-1} V$ tem distribuição de χ^2 com $S = v$ graus de liberdade, isto é:

$$V^T \Sigma_{Lb}^{-1} V \sim \chi^2(v) \quad (13)$$

onde, Σ_{Lb} é a matriz variância-covariância dos valores observados.

Logo

$$\frac{V^T P V}{\sigma_0^2} \sim \chi^2(v) \quad \text{ou} \quad \frac{\hat{\sigma}_0^2 S}{\sigma_0^2} \sim \chi^2(v) \quad (14)$$

Testa-se a hipótese básica:

$$H_0 : \sigma_0^2 = \hat{\sigma}_0^2$$

contra a hipótese alternativa:

$$H_1 : \sigma_0^2 \neq \hat{\sigma}_0^2$$

A decisão sobre a não rejeição ou rejeição da hipótese H_0 , é feita pela comparação da estatística de teste, obtida pela equação (15), com a estatística teórica, denominada por $\chi_{\text{teórico}}^2$, obtida por meio de tabelas estatísticas ou de programas computacionais.

Valor calculado:

$$\chi_{\text{calculado}}^{*2} = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} v = \frac{V^T P V}{\sigma_0^2} \quad (15)$$

Valor teórico:

$$\chi_{v, \frac{\alpha}{2}}^2 \text{ e } \chi_{v, 1-\frac{\alpha}{2}}^2$$

A hipótese básica não é rejeitada, ao nível de significância α , se:

$$\chi^{*2} < \chi_{v, 1-\frac{\alpha}{2}}^2 \quad (16)$$

ou seja, se $\chi_{\text{calculado}}^{*2} \leq \chi_{\text{teórico}}^2$, a hipótese H_0 para o caso unilateral não é rejeitada, com probabilidade de tomada da decisão correta igual ao nível de confiança de $(1-\alpha)$, onde α é o nível de significância fixado (GEMAEL, 1994).

Ao se aplicar o teste, deve-se escolher, a priori, um nível de significância, o qual corresponde à probabilidade de erro que se admite rejeitar uma hipótese H_0 verdadeira. Neste trabalho, quando da aplicação deste teste estatístico, adotou-se o nível de confiança de 95% ($1 - \alpha = 0,95$), sendo, portanto o nível de significância igual a 5% ($\alpha = 0,05$).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo será abordada a metodologia utilizada para avaliar a eficiência do Método de Relação da Linha de Referência, citado em US ARMY (2002), bem como, o uso de pontos de controle para verificar a variação da posição da Estação Total.

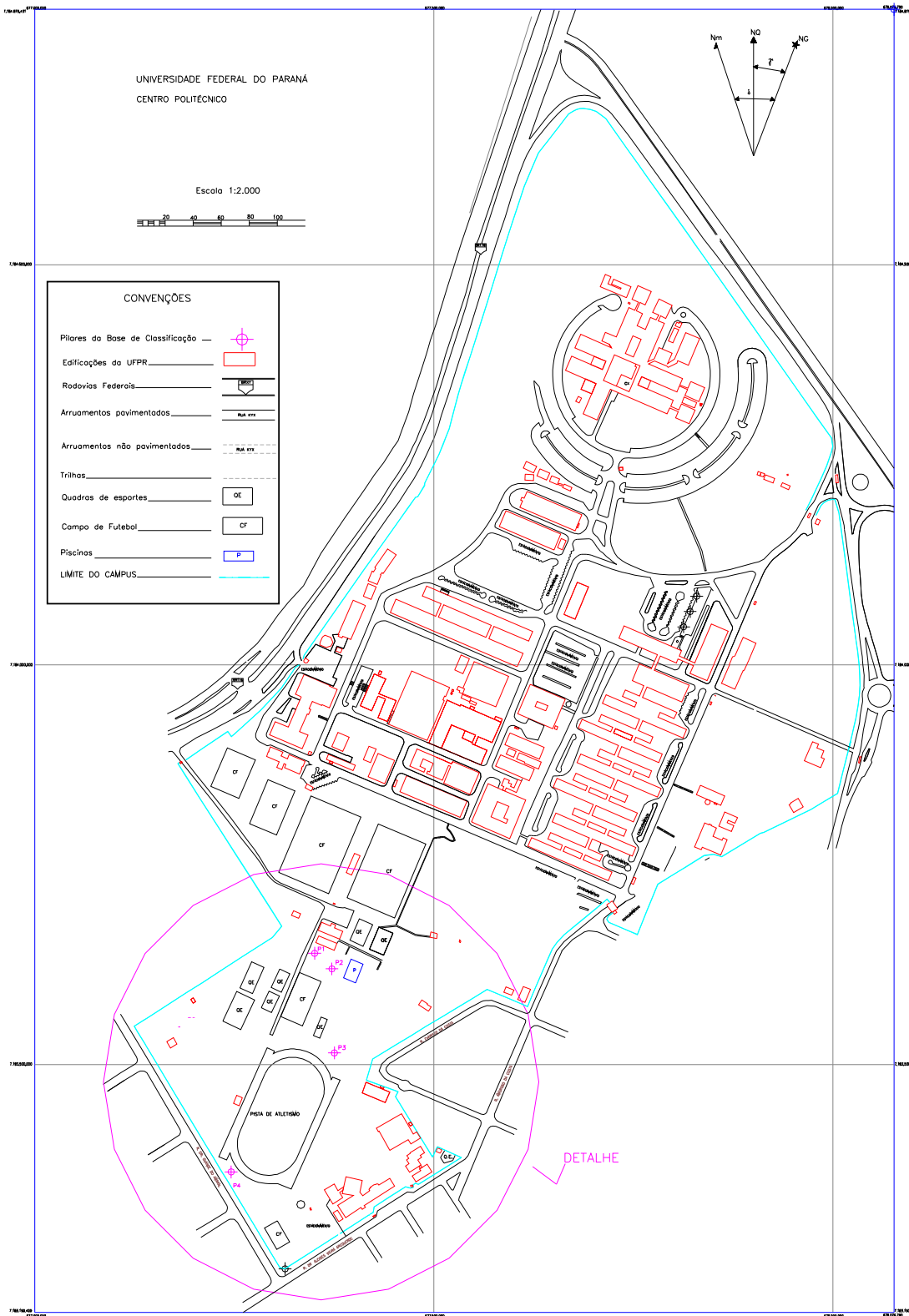
3.1 AVALIAÇÃO DO MÉTODO DE RELAÇÃO DA LINHA DE REFERÊNCIA

A área teste utilizada para a coleta de dados neste experimento consistiu na Base de Classificação de Teodolitos e Estações Totais, situada nas dependências do Centro Politécnico – Universidade Federal do Paraná (UFPR). A localização da mesma dentro do Campus da UFPR pode ser vista nas figuras 15 e 16. Esta foi definida levando-se em conta algumas considerações:

- a) Base constituída de cinco pilares de centragem forçada, o que possibilitou a reocupação dos pontos;
- b) Distâncias desiguais entre os pilares, permitindo assim que o Método fosse testado com distâncias variadas;
- c) Localização de fácil acesso.

Deve-se ressaltar que para esse experimento apenas quatro pilares foram utilizados.

FIGURA 15 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO - CENTRO POLITÉCNICO UFPR



FONTE: APTADO DE VEIGA, 2001

FIGURA 16 - DETALHE - MAPA DE LOCALIZAÇÃO



FONTE: ADAPTADO DE VEIGA, 2001

3.1.1 Equipamentos

Para a coleta dos dados os seguintes equipamentos/instrumentos foram utilizados:

- a) Estação Total Trimble Zeiss Elta S20, cuja precisão angular é de $\sigma_a = 3''$ (três segundos de arco) e na medida linear é $\sigma_D = 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$;

classificada segundo a NBR 13.133 como uma estação de média precisão;

- b) Estação Total TC 403L, com precisão angular de $\sigma_a = 10''$ (dez segundos de arco) e na medida linear de $\sigma_D = 3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm}$, classificada segundo a NBR 13.133 como uma estação de baixa precisão;
- c) Três prismas refletores Leica;
- d) Psicômetro e Barômetro Aneróide Paulim ;
- e) Três bases nivelantes;
- f) Três adaptadores de encaixe do prisma na base;
- g) Três pinos para encaixe do prisma no adaptador;
- h) Guarda-sol.

FIGURA 17 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS



FONTE: AUTORA

3.1.2 Procedimento de Campo

Foram realizados levantamentos de campo nos dias 8, 9, 13, 14, 15, 17, 20 e 22 de fevereiro, no dia 20 de abril e no dia 5 de maio de 2006, totalizando 10 dias de

observações com a Estação Total Elta S20. Com a Estação Total TC 403L os levantamentos ocorreram nos dias 28 de abril, 5 de maio, 6 de agosto e 13 de setembro de 2006. As observações foram realizados em épocas diferentes, com o propósito de se avaliar a eficácia do Método de Relações aplicado a medidas obtidas nas mais diversas condições meteorológicas (figura 18).

FIGURA 18 - CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS DURANTE OS LEVANTAMENTOS



FONTE: AUTORA

A metodologia utilizada consistiu em estacionar a Estação Total no pilar BASE, e instalar os prismas nos pilares P1, P2 e P3 (figura 16, 19 e 20). Foi definida como linha de referência a distância da Base até o pilar P1, esta foi escolhida, pois atravessa aproximadamente as mesmas condições atmosféricas encontradas ao longo das linhas aos outros pilares.

A partir dessa disposição dos pontos, foram feitas três séries de observações, com leituras em posição direta e inversa, de ângulos zenitais e distâncias inclinadas para cada pilar, bem como, coleta de parâmetros ambientais (pressão e temperatura seca) e o horário das observações.

No Método de Relação da Linha de Referência, as medidas de temperatura e pressão só precisam ser feitas a primeira vez que um projeto é levantado, e somente quando forem observadas distâncias em linhas de referência, sendo assim, as únicas medidas de parâmetros ambientais utilizadas para a aplicação desse método são as realizadas sobre a linha de referência Base – P1, no primeiro dia de levantamento. Apesar disso, para efeito de comparação dos resultados encontrados pela aplicação desse método com os obtidos pela aplicação das fórmulas de correções atmosféricas, equação (1) e equação (2), para cada comprimento medido foram registradas a temperatura seca e úmida, pressão atmosférica e a hora, junto ao pilar Base.

FIGURA 19 - PILAR BASE



FONTE: AUTORA

FIGURA 20 - PILARES P1 E P2



FONTE: AUTORA

Alguns cuidados foram tomados na execução dos dois experimentos, tais como:

- a) desabilitou-se a função existente na Estação Total que permite as correções das distâncias dos efeitos ambientais;
- b) o Aneróide foi verificado e retificado no Laboratório de Instrumentação Geodésica (LAIG), utilizando uma coluna de mercúrio, cuja precisão nominal é de 0,1 mmHg.;
- c) as bases foram niveladas (figura 21) e os prismas foram direcionados para o pilar Base (figura 22);
- d) os conjuntos prisma-pino-adaptador-base foram numerados, garantindo assim que o mesmo conjunto fosse instalado sobre o mesmo pilar durante todo a campanha.

FIGURA 21 - BASES NIVELADAS



FONTE: AUTORA

FIGURA 22 - PRISMAS DIRECIONADOS PARA O PILAR BASE



FONTE: AUTORA

No Quadro 1 e Quadro 2, são apresentados os dados coletados com a Estação Total Elta S20 e com a Estação Total TC 403L, respectivamente, durante toda a campanha:

QUADRO 1 - OBSERVAÇÕES DE CAMPO OBTIDAS COM A ESTAÇÃO TOTAL ELTA S20

continua

DATA	SÉRIE	BASE P/	HORA	ÂNGULO ZENITAL		DIST. INCL. (m)	TEMP (°C)		PRESSÃO (mmHg)
				PD	PI		SECA	ÚMIDA	
8/fev	1ª	1	15:39	90° 00' 57,0"	269° 59' 04,0"	285,442	28,7	23,3	685,00
		2	15:42	90° 00' 53,0"	269° 59' 16,0"	265,786	30,0	23,7	685,15
		3	15:45	90° 01' 12,0"	269° 58' 47,0"	173,144	27,9	23,1	685,00
	2ª	1	15:48	90° 00' 59,0"	269° 59' 10,0"	285,442	29,8	23,2	685,15
		2	15:53	90° 00' 54,0"	269° 59' 08,0"	265,786	29,9	23,5	685,15
		3	15:58	90° 01' 15,0"	269° 59' 02,0"	173,144	28,1	23,2	685,15
	3ª	1	16:04	90° 00' 57,0"	269° 59' 07,0"	285,442	27,9	23,1	685,10
		2	16:09	90° 00' 48,0"	269° 59' 11,0"	265,786	28,0	23,0	685,10
		3	16:13	90° 01' 17,0"	269° 58' 51,0"	173,144	27,5	22,9	685,15
9/fev	1ª	1	11:46	90° 00' 52,0"	269° 59' 01,0"	285,442	28,1	22,7	688,80
		2	11:51	90° 00' 45,0"	269° 59' 04,0"	265,786	28,3	22,9	688,80
		3	11:56	90° 01' 12,0"	269° 58' 47,0"	173,144	28,5	23,0	688,50
	2ª	1	11:59	90° 00' 55,0"	269° 59' 01,0"	285,442	27,7	22,5	688,50
		2	12:04	90° 00' 46,0"	269° 59' 06,0"	265,786	28,1	22,5	688,50
		3	12:08	90° 01' 14,0"	269° 58' 42,0"	173,144	28,5	22,7	688,50
	3ª	1	12:11	90° 00' 57,0"	269° 59' 04,0"	285,441	28,2	22,5	688,50
		2	12:15	90° 00' 47,0"	269° 59' 09,0"	265,786	27,9	22,1	688,50
		3	12:21	90° 01' 14,0"	269° 58' 45,0"	173,144	27,9	22,1	688,50
13/fev	1ª	1	10:33	90° 00' 51,1"	269° 59' 07,0"	285,440	24,3	19,9	688,00
		2	10:44	90° 00' 53,6"	269° 59' 07,1"	265,786	24,3	19,7	688,00
		3	10:49	90° 01' 07,2"	269° 58' 50,9"	173,143	24,0	19,3	688,00
	2ª	1	10:53	90° 00' 51,2"	269° 59' 08,7"	285,440	24,3	19,7	688,00
		2	10:57	90° 00' 50,2"	269° 59' 08,2"	265,786	24,1	19,5	688,00
		3	11:01	90° 01' 07,5"	269° 58' 50,3"	173,143	24,1	19,5	688,00
	3ª	1	11:06	90° 00' 50,8"	269° 59' 08,1"	285,440	23,9	19,5	688,00
		2	11:10	90° 00' 50,2"	269° 59' 08,3"	265,786	24,0	19,6	688,00
		3	11:14	90° 01' 08,5"	269° 58' 50,3"	173,143	24,2	19,9	688,00
14/fev	1ª	1	9:35	90° 00' 53,4"	269° 59' 07,6"	285,440	23,4	18,8	688,80
		2	9:40	90° 00' 50,1"	269° 59' 09,5"	265,787	23,5	18,9	688,80
		3	9:44	90° 01' 11,3"	269° 58' 47,4"	173,143	24,4	19,6	688,90
	2ª	1	9:48	90° 00' 52,8"	269° 59' 07,5"	285,441	23,6	19,3	689,00
		2	9:54	90° 00' 49,2"	269° 59' 09,7"	265,786	24,2	19,7	688,80
		3	9:59	90° 01' 10,2"	269° 58' 47,8"	173,143	24,7	19,9	688,80
	3ª	1	10:03	90° 00' 52,8"	269° 59' 07,3"	285,440	23,1	19,9	688,80
		2	10:08	90° 00' 50,3"	269° 59' 09,1"	265,786	23,5	19,3	688,80
		3	10:11	90° 01' 11,1"	269° 58' 47,3"	173,143	23,5	19,1	688,80
15/fev	1ª	1	14:23	90° 00' 50,1"	269° 59' 06,1"	285,439	28,6	20,9	688,30
		2	14:28	90° 00' 52,5"	269° 59' 05,8"	265,785	28,4	20,7	688,30
		3	14:32	90° 01' 09,6"	269° 58' 46,2"	173,142	28,7	21,1	688,20
	2ª	1	14:38	90° 00' 50,7"	269° 59' 06,3"	285,439	28,5	21,1	688,40
		2	14:43	90° 00' 52,3"	269° 59' 05,1"	265,785	28,8	20,9	688,20
		3	14:46	90° 01' 09,2"	269° 58' 45,9"	173,142	28,5	21,0	688,10
	3ª	1	14:51	90° 00' 51,2"	269° 59' 08,2"	285,439	28,1	20,9	687,90
		2	14:54	90° 00' 53,2"	269° 59' 06,1"	265,785	28,3	20,9	688,10
		3	14:59	90° 01' 09,3"	269° 58' 45,6"	173,142	28,1	20,9	687,90

QUADRO 1 - OBSERVAÇÕES DE CAMPO OBTIDAS COM A ESTAÇÃO TOTAL ELTA S20

DATA	SÉRIE	BASE P/	HORA	ÂNGULO ZENITAL		DIST. INCL. (m)	TEMP (°C)		PRESSÃO (mmHg)
				PD	PI		SECA	ÚMIDA	
17/fev	1ª	1	03:49	90° 00' 53,4"	269° 59' 07,8"	285,438	29,5	21,9	685,30
		2	03:52	90° 00' 51,3"	269° 59' 08,1"	265,784	29,3	21,9	685,30
		3	03:56	90° 01' 11,2"	269° 58' 48,2"	173,142	28,7	21,9	685,20
	2ª	1	04:02	90° 00' 53,2"	269° 59' 07,2"	285,439	26,5	21,9	685,60
		2	04:06	90° 00' 51,3"	269° 59' 09,1"	265,785	24,9	21,7	685,40
		3	04:10	90° 01' 11,4"	269° 58' 48,4"	173,142	24,7	21,5	685,65
	3ª	1	04:15	90° 00' 53,1"	269° 59' 07,2"	285,439	24,0	21,3	685,40
		2	04:19	90° 00' 52,2"	269° 59' 08,7"	265,785	24,0	21,5	685,35
		3	04:22	90° 01' 11,4"	269° 58' 48,5"	173,142	24,0	21,7	685,40
20/fev	1ª	1	15:32	90° 00' 48,6"	269° 59' 11,8"	285,440	27,1	21,8	686,50
		2	15:36	90° 00' 50,2"	269° 59' 08,2"	265,786	27,0	22,1	686,70
		3	15:39	90° 01' 02,8"	269° 58' 50,8"	173,142	26,9	21,8	686,80
	2ª	1	15:44	90° 00' 48,1"	269° 59' 11,2"	285,440	27,9	22,3	686,80
		2	15:48	90° 00' 50,1"	269° 59' 08,2"	265,785	27,9	22,1	686,40
		3	15:52	90° 01' 03,0"	269° 58' 49,8"	173,142	28,0	22,1	686,40
	3ª	1	15:56	90° 00' 48,7"	269° 59' 10,7"	285,440	27,6	22,1	686,40
		2	16:01	90° 00' 50,5"	269° 59' 07,6"	265,786	28,7	22,1	686,40
		3	16:06	90° 01' 02,8"	269° 58' 52,0"	173,142	28,9	21,7	686,30
22/fev	1ª	1	19:07	90° 00' 44,5"	269° 59' 11,5"	285,439	26,9	19,9	681,80
		2	19:11	90° 00' 43,0"	269° 59' 16,0"	265,785	26,5	19,8	681,80
		3	19:15	90° 01' 03,2"	269° 58' 54,1"	173,142	26,3	19,7	681,80
	2ª	1	19:20	90° 00' 41,8"	269° 59' 12,1"	285,439	25,7	19,5	682,00
		2	19:23	90° 00' 42,2"	269° 59' 16,1"	265,785	25,0	19,5	682,00
		3	19:27	90° 01' 03,1"	269° 58' 53,1"	173,142	25,0	19,7	682,10
	3ª	1	19:31	90° 00' 42,0"	269° 59' 11,0"	285,439	24,1	19,1	682,10
		2	19:35	90° 00' 42,1"	269° 59' 16,0"	265,785	24,0	19,0	682,70
		3	19:39	90° 01' 03,1"	269° 58' 52,9"	173,142	23,9	19,0	682,80
20/abr	1ª	1	09:24	90° 00' 50,2"	269° 59' 06,3"	285,442	19,7	15,3	693,00
		2	09:30	90° 00' 50,7"	269° 59' 06,1"	265,787	21,1	16,0	693,00
		3	09:35	90° 01' 08,1"	269° 58' 50,0"	173,144	18,8	14,3	693,00
	2ª	1	09:40	90° 00' 50,6"	269° 59' 10,1"	285,442	18,9	14,9	693,00
		2	09:44	90° 00' 47,8"	269° 59' 14,8"	265,787	18,9	14,9	693,00
		3	09:50	90° 01' 10,6"	269° 58' 48,3"	173,144	19,0	14,9	693,00
	3ª	1	09:55	90° 00' 52,5"	269° 59' 05,3"	285,442	20,5	15,3	693,00
		2	10:06	90° 00' 46,4"	269° 59' 10,7"	265,787	20,0	14,7	693,00
		3	10:10	90° 01' 11,9"	269° 59' 47,8"	173,144	21,3	14,7	693,00
5/mai	1ª	1	07:18	90° 00' 51,9"	269° 59' 06,5"	285,444	12,0	8,8	691,90
		2	07:24	90° 00' 54,4"	269° 59' 08,7"	265,789	12,3	9,1	691,90
		3	07:28	90° 01' 14,2"	269° 58' 45,4"	173,145	12,1	9,1	691,90
	2ª	1	07:32	90° 00' 51,1"	269° 59' 07,8"	285,444	12,0	9,0	691,90
		2	07:35	90° 00' 54,1"	269° 59' 08,6"	265,789	12,3	9,1	691,90
		3	07:38	90° 01' 13,2"	269° 58' 45,8"	173,145	13,0	9,4	691,90
	3ª	1	07:40	90° 00' 52,0"	269° 59' 07,5"	285,444	13,2	9,8	691,90
		2	07:45	90° 00' 52,0"	269° 59' 08,2"	265,789	13,4	9,7	691,90
		3	07:48	90° 01' 14,1"	269° 58' 45,0"	173,145	14,3	10,1	691,90

QUADRO 2 - OBSERVAÇÕES DE CAMPO OBTIDAS COM A ESTAÇÃO TOTAL TC 403L

DATA	SÉRIE	BASE P/	HORA	ÂNGULO ZENITAL		DIST. INCL. (m)	TEMP. (°C)		PRESSÃO (mmHg)
				PD	PI		ÚMIDA	SECA	
28/abr	1ª	1	10:40	90° 00' 57,0"	269° 59' 19,0"	285,407	16,3	23,3	690,50
		2	10:44	90° 01' 06,0"	269° 59' 21,0"	265,752	15,7	22,3	690,50
		3	10:48	90° 01' 24,0"	269° 59' 02,0"	173,108	15,5	21,7	690,50
	2ª	1	10:52	90° 00' 57,0"	269° 59' 52,0"	285,407	15,1	21,7	690,50
		2	11:00	90° 01' 05,0"	269° 59' 52,0"	265,752	15,1	21,3	690,50
		3	11:04	90° 01' 22,0"	269° 59' 13,0"	173,108	15,5	21,7	690,50
	3ª	1	11:08	90° 01' 05,0"	269° 59' 52,0"	285,407	15,5	22,0	690,30
		2	11:14	90° 01' 05,0"	269° 59' 45,0"	265,752	15,5	22,3	690,30
		3	11:18	90° 01' 23,0"	269° 59' 23,0"	173,108	15,3	22,1	690,30
5/mai	1ª	1	9:59	90° 01' 05,0"	269° 59' 19,0"	285,409	12,9	19,1	692,20
		2	10:16	90° 01' 02,0"	269° 59' 24,0"	265,752	12,8	19,4	692,20
		3	10:20	90° 01' 33,0"	269° 58' 53,0"	173,109	12,9	19,0	692,20
	2ª	1	10:24	90° 01' 06,0"	269° 59' 24,0"	285,409	12,9	19,2	692,20
		2	10:29	90° 01' 05,0"	269° 59' 22,0"	265,752	12,7	19,2	692,20
		3	10:33	90° 01' 31,0"	269° 58' 54,0"	173,109	12,8	19,6	692,20
	3ª	1	10:38	90° 01' 05,0"	269° 59' 24,0"	285,409	12,7	19,6	692,20
		2	10:43	90° 01' 05,0"	269° 59' 22,0"	265,752	12,7	19,6	692,20
		3	10:45	90° 01' 33,0"	269° 59' 04,0"	173,109	12,5	19,6	692,20
6/ago	1ª	1	14:25	90° 00' 46,0"	269° 59' 05,0"	285,409	8,8	14,3	694,80
		2	14:32	90° 00' 48,0"	269° 59' 04,0"	265,754	8,7	14,4	694,80
		3	14:38	90° 01' 06,0"	269° 58' 39,0"	173,110	8,2	13,8	694,80
	2ª	1	14:47	90° 00' 45,0"	269° 59' 04,0"	285,409	8,3	13,8	694,70
		2	14:52	90° 00' 43,0"	269° 59' 04,0"	265,754	8,6	14,1	694,70
		3	14:57	90° 01' 09,0"	269° 58' 41,0"	173,111	8,6	14,1	694,70
	3ª	1	15:03	90° 00' 45,0"	269° 59' 00,0"	285,408	8,6	14,1	694,70
		2	15:07	90° 00' 45,0"	269° 59' 06,0"	265,754	8,4	14,0	694,60
		3	15:12	90° 01' 09,0"	269° 58' 43,0"	173,111	8,6	14,2	694,60
13/set	1ª	1	14:10	90° 00' 43,0"	269° 59' 09,0"	285,440	18,2	31,6	690,50
		2	14:15	90° 00' 42,0"	269° 59' 14,0"	265,749	18,6	32,3	690,50
		3	14:19	90° 01' 12,0"	269° 58' 46,0"	173,107	18,7	31,5	690,50
	2ª	1	14:23	90° 00' 46,0"	269° 59' 12,0"	285,440	18,4	31,6	690,50
		2	14:27	90° 00' 40,0"	269° 59' 16,0"	265,749	18,1	31,7	690,50
		3	14:32	90° 01' 08,0"	269° 58' 42,0"	173,107	18,0	31,8	690,50
	3ª	1	14:36	90° 00' 44,0"	269° 59' 10,0"	285,440	17,8	31,5	690,30
		2	14:42	90° 00' 45,0"	269° 59' 13,0"	265,749	18,4	31,9	690,30
		3	14:46	90° 01' 10,0"	269° 58' 47,0"	173,107	18,0	31,1	690,30

De posse dos dados coletados partiu-se para a aplicação do Método de Relação da Linha de Referência. O primeiro passo trata da correção do índice de refração da linha de referência, isso deve ser feito a fim de dar a escala apropriada a figura. Esta correção foi obtida através da aplicação das fórmulas adotadas pelo IUGG, citadas em RÜEGGER (1996), equação (2). Depois da distância da linha de referência ter sido corrigida ela foi reduzida ao plano.

Sendo o comprimento corrigido da linha de referência D_{cor} e o comprimento observado da mesma linha D_{obs} , a seguinte equação pode ser escrita:

$$D_{cor} = D_{obs} \cdot k \quad (17)$$

onde:

k - é na ocasião uma constante devido às condições atmosféricas ao longo da linha de referência.

O passo seguinte consistiu na redução ao plano das demais distâncias observadas, mas em trabalhos onde as linhas excedem 1 km, a superfície na qual um levantamento está sendo feito não pode ser considerada um plano, devendo, portanto ser reduzida ao elipsóide. Para a redução de distância ao plano topográfico tem-se que:

$$D_h = D_i \cdot \text{sen } z \quad (18)$$

onde:

D_h - distância horizontal;

D_i - distância inclinada;

z - ângulo zenital

Como a linha de referência atravessa aproximadamente a mesma atmosfera que as demais linhas medidas, k também é uma constante atmosférica para essas outras linhas. Se P_{obs} for o comprimento observado sobre os demais pilares, então, P_{cor} pode ser encontrado por:

$$P_{cor} = P_{obs} \cdot k \quad (19)$$

Esta técnica permite corrigir o índice de refração sem usar equipamentos que medem temperatura e pressão. Porém, k exatamente não é uma constante, pois muda lentamente com o tempo, por isto, deve ser remedido num intervalo de aproximadamente 30 minutos, ou seja, a distância Base – P1, e assume-se que muda numa forma linear (US ARMY, 2002).

Os resultados obtidos pela aplicação desse método, bem como, os obtidos pela aplicação das equações (1) e (2) são apresentados no Capítulo 4.

3.2 MONITORAMENTO DA POSIÇÃO DA ESTAÇÃO TOTAL ATRAVÉS DO USO DE PONTOS DE CONTROLE

Esse experimento reproduz o comportamento da Estação Total em uma área instável, em um campo de teste, no qual a estação foi instalada em pilares de centragem forçada e em tripés industriais sob terreno estável, e um conjunto de pontos de controles foi distribuído ao redor da área para que os mesmos fossem utilizados para monitorar a posição da estação. Neste caso, ao invés do desnivelamento da estação ser provocado pela instabilidade do terreno ele foi provocado pelo operador do equipamento, ou seja, o compensador da estação foi desligado e através dos parafusos calantes ela foi desnivelada. Desta forma, dois conjuntos de observações foram obtidos (para cada experimento), e a partir disso, foi possível calcular valores de deslocamento (translação e rotação) em relação a uma posição inicial do instrumento.

3.2.1 Equipamentos

Para a coleta dos dados os seguintes equipamentos/instrumentos foram utilizados :

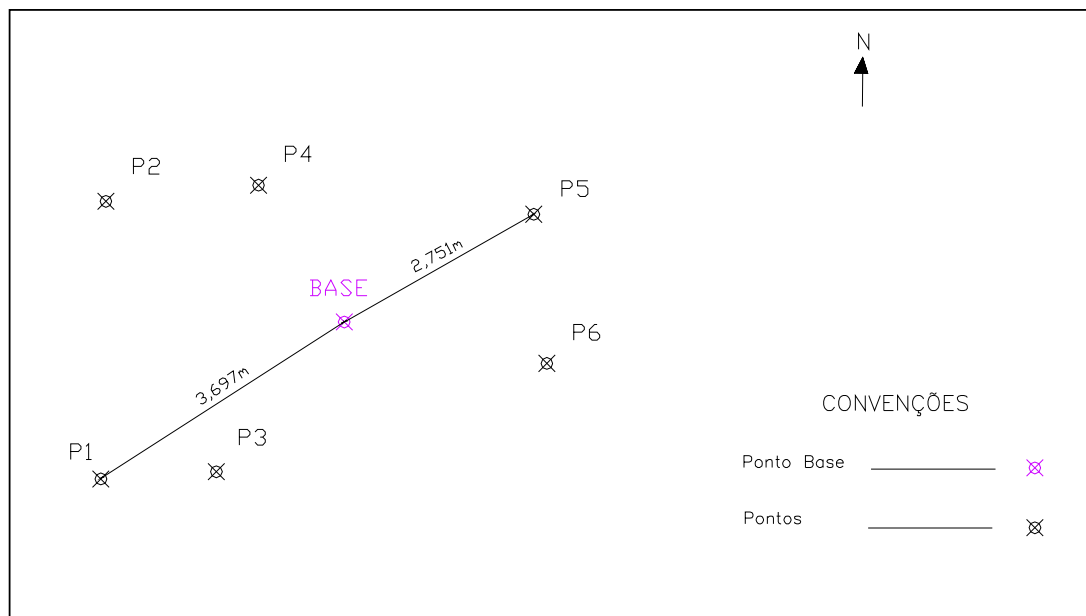
- a) Estação Total Trimble Zeiss Elta S20;
- b) Seis prismas refletores Leica;

- c) Quatro bases nivelantes;
- d) Cinco adaptadores de encaixe do prisma na base;
- e) Quatro pinos para encaixe do prisma no adaptador;
- f) Dois bipés (para o teste realizado no Laboratório de Topografia Informatizada – LATIN, somente um bipé foi utilizado);
- g) Tripé industrial (Teste em Laboratório).

3.2.2 Teste em Laboratório

Esse teste foi realizado no Laboratório de Topografia Informatizada (LATIN), tendo a finalidade de realizar o estudo para pequenas distâncias (de até 5m). A metodologia consistiu em estacionar o equipamento sobre um tripé industrial e distribuir os prismas no laboratório de maneira que esses se mantivessem estáveis (figura 23).

FIGURA 23 - DISPOSIÇÃO DOS PONTOS NO LATIN



A partir dessa disposição inicial, foram realizadas quatro séries de observações, com leituras em posição direta e inversa, de direções horizontais, ângulos zenitais e distâncias inclinadas para um conjunto de pontos de controle observados numa época t_0 , com a Estação Total nivelada, determinando-se assim a coordenada do ponto P. Após essas observações, a estação foi desnivelada de 2' nas duas direções, e o mesmo conjunto de pontos foi observado numa época t_1 . A figura 24 mostra o nível digital da estação, demonstra, portanto como é possível quantificar os 2'.

Através do ajustamento determinaram-se os parâmetros de transformação entre o instante t_0 e t_1 . Mediu-se o ponto P novamente, os parâmetros de transformação foram aplicados e as coordenadas de P determinadas. Desta forma, foi possível calcular valores de deslocamento em relação a uma posição inicial do instrumento.

FIGURA 24 - NÍVEL DIGITAL



FONTE: AUTORA

Os dados observados em laboratório são apresentados nos Quadros 3 e 4:

QUADRO 3 - OBSERVAÇÕES EM LABORATÓRIO – ESTAÇÃO TOTAL NIVELADA

SÉRIE	BASE P/	DIREÇÃO HORIZONTAL		ÂNGULO ZENITAL		DIST. INCL. (m)
		PD	PI	PD	PI	
1ª	1	236° 47' 12,8"	56° 47' 14,6"	93° 17' 25,9"	266° 42' 23,1"	3,697
	2	296° 12' 43,6"	116° 12' 38,8"	93° 49' 35,0"	266° 10' 16,2"	3,377
	3	220° 02' 35,6"	40° 02' 31,2"	94° 47' 59,0"	265° 11' 44,6"	2,527
	4	327° 16' 17,4"	147° 16' 09,0"	96° 13' 15,4"	263° 46' 35,9"	2,015
	5	61° 09' 04,2"	241° 09' 00,0"	101° 45' 38,1"	258° 14' 12,7"	2,751
	6	102° 18' 02,5"	282° 18' 04,0"	78° 12' 23,5"	281° 47' 26,2"	2,636
2ª	1	236° 47' 11,3"	56° 47' 11,2"	93° 17' 25,4"	266° 42' 23,6"	3,697
	2	296° 12' 45,1"	116° 12' 39,4"	93° 49' 33,4"	266° 10' 18,8"	3,377
	3	220° 02' 34,4"	40° 02' 32,0"	94° 47' 59,3"	265° 11' 44,1"	2,527
	4	327° 16' 14,8"	147° 16' 08,9"	96° 13' 14,2"	263° 46' 38,9"	2,015
	5	61° 09' 03,6"	241° 09' 07,0"	101° 45' 38,0"	258° 14' 12,3"	2,752
	6	102° 18' 02,1"	282° 18' 05,0"	78° 12' 22,5"	281° 47' 25,4"	2,636
3ª	1	236° 47' 11,9"	56° 47' 13,1"	93° 17' 27,1"	266° 42' 23,3"	3,697
	2	296° 12' 45,7"	116° 12' 40,8"	93° 49' 35,2"	266° 10' 17,2"	3,377
	3	220° 02' 31,9"	40° 02' 30,3"	94° 47' 55,7"	265° 11' 50,7"	2,527
	4	327° 16' 14,5"	147° 16' 09,6"	96° 13' 13,3"	263° 46' 32,7"	2,015
	5	61° 09' 03,3"	241° 09' 01,8"	101° 45' 38,2"	258° 14' 12,4"	2,752
	6	102° 18' 04,0"	282° 18' 02,8"	78° 12' 23,2"	281° 47' 27,8"	2,636
4ª	1	236° 47' 10,8"	56° 47' 12,9"	93° 17' 29,0"	266° 42' 22,0"	3,697
	2	296° 12' 42,7"	116° 12' 41,0"	93° 49' 31,5"	266° 10' 16,2"	3,377
	3	220° 02' 36,9"	40° 02' 32,7"	94° 48' 00,3"	265° 11' 49,3"	2,527
	4	327° 16' 17,1"	147° 16' 09,4"	96° 13' 14,3"	263° 46' 33,3"	2,015
	5	61° 09' 01,0"	241° 09' 05,5"	101° 45' 39,1"	258° 14' 13,7"	2,752
	6	102° 18' 06,0"	282° 18' 05,6"	78° 12' 24,0"	281° 47' 25,6"	2,636

QUADRO 4 - OBSERVAÇÕES EM LABORATÓRIO- ESTAÇÃO TOTAL DESNIVELADA DE
2'

SÉRIE	BASE P/	DIREÇÃO HORIZONTAL		ÂNGULO ZENITAL		DIST. INCL. (m)
		PD	PI	PD	PI	
1ª	1	236° 46' 07,3"	56° 46' 06,2"	93° 14' 48,2"	266° 45' 02,1"	3,697
	2	296° 11' 37,9"	116° 11' 37,9"	93° 47' 23,7"	266° 12' 22,7"	3,377
	3	220° 01' 35,2"	40° 01' 31,1"	94° 45' 43,2"	265° 13' 53,5"	2,527
	4	327° 15' 08,1"	147° 15' 03"	96° 12' 08,8"	263° 47' 37,8"	2,015
	5	61° 08' 13,2"	241° 08' 14,0"	101° 48' 02,3"	258° 11' 53,2"	2,752
	6	102° 16' 58,7"	282° 16' 58,5"	78° 14' 41,2"	281° 44' 48,4"	2,636
2ª	1	236° 46' 07,2"	56° 46' 08,0"	93° 14' 47,1"	266° 45' 04,4"	3,697
	2	296° 11' 36,6"	116° 11' 38,4"	93° 47' 23,7"	266° 12' 21,8"	3,377
	3	220° 01' 34,3"	40° 01' 30,5"	94° 45' 44,8"	265° 13' 52,7"	2,527
	4	327° 15' 08,1"	147° 15' 03,0"	96° 12' 09,4"	263° 47' 38,1"	2,015
	5	61° 08' 12,6"	241° 08' 13,9"	101° 48' 02,9"	258° 11' 53,1"	2,752
	6	102° 16' 59,3"	282° 16' 57,2"	78° 14' 40,6"	281° 44' 47,9"	2,636
3ª	1	236° 46' 07,2"	56° 46' 07,8"	93° 14' 48,9"	266° 45' 04,5"	3,697
	2	296° 11' 37,6"	116° 11' 37,2"	93° 47' 24,9"	266° 12' 25,1"	3,377
	3	220° 01' 34,8"	40° 01' 30,0"	94° 45' 43,7"	265° 13' 53,0"	2,527
	4	327° 15' 08,5"	147° 15' 13,8"	96° 12' 08,6"	263° 47' 38,3"	2,015
	5	61° 08' 14,2"	241° 08' 13,0"	101° 48' 02,9"	258° 11' 53,0"	2,752
	6	102° 16' 57,0"	282° 16' 56,8"	78° 14' 39,8"	281° 44' 48,3"	2,636
4ª	1	236° 46' 06,3"	56° 46' 06,8"	93° 14' 49,9"	266° 45' 04,2"	3,697
	2	296° 11' 36,7"	116° 11' 38,7"	93° 47' 23,6"	266° 12' 26,6"	3,377
	3	220° 01' 34,5"	40° 01' 32,3"	94° 45' 44,8"	265° 13' 53,3"	2,527
	4	327° 15' 08,8"	147° 15' 04,2"	96° 12' 08,5"	263° 47' 37,5"	2,015
	5	61° 08' 13,0"	241° 08' 15,1"	101° 48' 01,8"	258° 11' 52,3"	2,752
	6	102° 16' 58,7"	282° 16' 58,5"	78° 14' 39,8"	281° 44' 48,6"	2,636

Foram calculadas as médias das quatro séries, ressalta-se que os ângulos horizontais lidos no ponto P1 foram reduzidos ao ângulo 0°, todos os demais foram corrigidos dessa diferença. Com os ângulos horizontais, zenitais e distâncias médias calculadas, partiu-se para o cálculo das coordenadas dos pontos no referencial da estação, sendo a origem o ponto Cardã.

As coordenadas foram calculadas por meio das seguintes equações:

$$X = d \cdot \text{sen } z \cdot \text{sen } h \quad (10)$$

$$Y = d \cdot \text{sen } z \cdot \text{cos } h \quad (11)$$

$$Z = d \cdot \text{cos } z \quad (9)$$

onde:

X, Y, Z - coordenadas no referencial da estação

d - média das distâncias

z - média dos ângulos verticais

h - média dos ângulos horizontais

O procedimento descrito acima foi aplicado nas observações obtidas com a estação nivelada e desnivelada, formando assim dois conjuntos de coordenadas para cada ponto, em referenciais diferentes. Este método infere que a partir destes conjuntos de observações consegue-se calcular os valores de translação, rotação e fator de escala, e por meio deles recalculam as coordenadas da estação. A partir destes valores, pode-se calcular as coordenadas de pontos locados em estruturas e verificar se houve ou não deslocamento dos mesmos.

Considerando que esses conjuntos de coordenadas estão em referenciais diferentes, para se obter os parâmetros de transformação da estação deve ser aplicada a Transformação de Helmert. Ela é tipicamente usada em levantamentos em que se deseja mudar de um sistema de coordenadas para outro, desde que se conheça um determinado número de pontos comuns nos dois referenciais. O fator de escala é definido por um parâmetro, as rotações e as translações por três, resultando, portanto em sete parâmetros. Assim, com o mínimo de três pontos, os sete parâmetros podem ser determinados:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} + (1 + \delta) \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & 1 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (20)$$

onde:

X, Y, Z coordenadas dos pontos obtidas com dados da estação nivelada;

x, y, z coordenadas dos pontos obtidas com dados da estação desnivelada;

x_0, y_0, z_0 translações;
 δ fator de escala;
 $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ rotações.

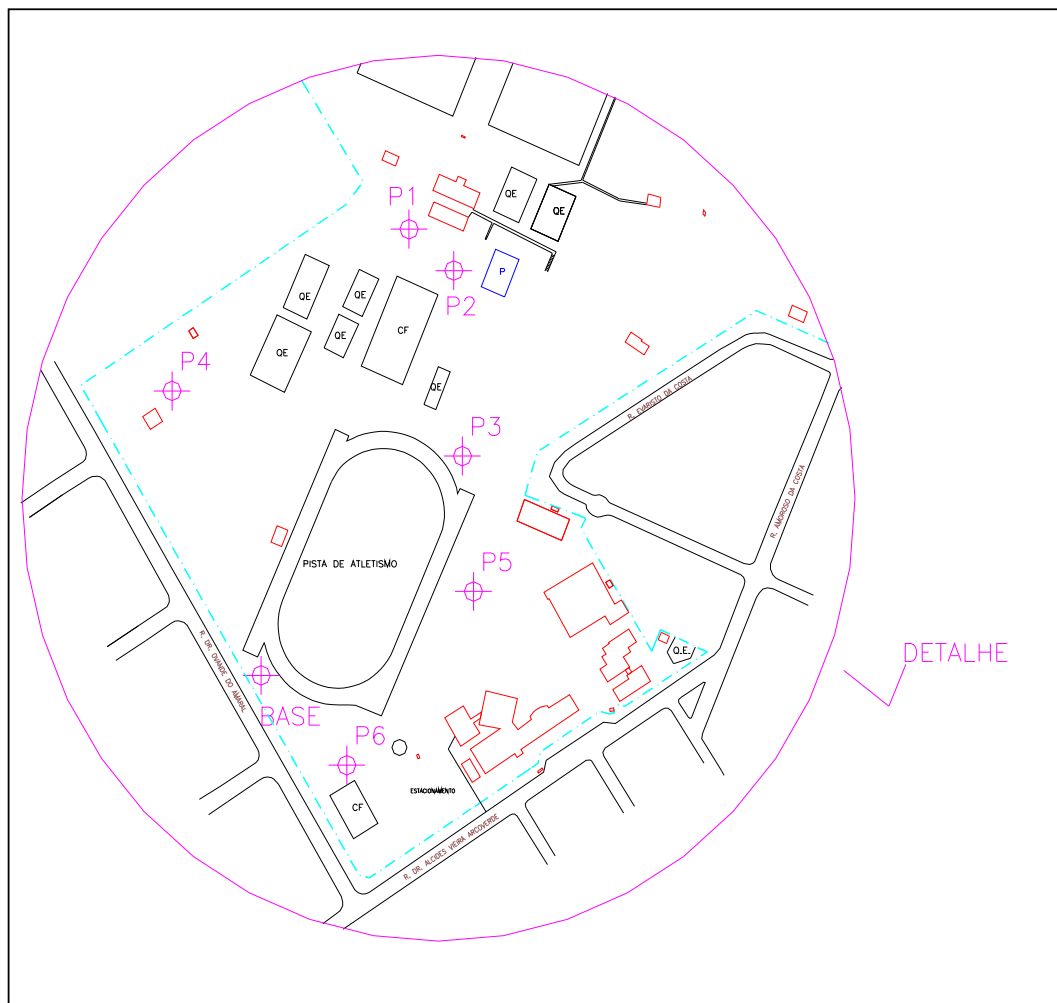
Trata-se de um sistema de equações com $3n$ equações (n é o número de pontos) e sete parâmetros a determinar, adotou-se o modelo paramétrico para a resolução desse sistema.

Como forma de verificar a qualidade dos parâmetros encontrados, um ponto foi deixado de fora do ajustamento (Ponto P5). Os parâmetros foram então aplicados nas coordenadas do ponto P5, obtidas com a estação desnivelada, e através desse procedimento as coordenadas foram transformadas para o referencial da estação nivelada. Por fim, fez-se a comparação das coordenadas obtidas com a estação nivelada com as coordenadas calculadas para a mesma estação. Os resultados de todo este processo podem ser vistos no Capítulo 4.

3.2.3 Teste na Base de Classificação da UFPR

Esse teste foi realizado na Base de Classificação de Teodolitos e Estações Totais (ver 3.1), tendo a finalidade de realizar o estudo para distâncias maiores (acima de 150 m). A metodologia consistiu em estacionar o equipamento sobre o Pilar Base, instalar os prismas nos pilares P1, P2, P3 e P4 e os dois bipés em pontos aleatoriamente definidos (figuras 15 e 25).

FIGURA 25 - DISPOSIÇÃO DOS PONTOS NA BASE DE CLASSIFICAÇÃO



FONTE: ADAPTADO DE VEIGA, 2001

Foi obtido um primeiro conjunto de observações com a estação nivelada e um segundo conjunto com a estação desnivelada de 7' nas duas direções. Para o cálculo das coordenadas dos pontos, dos parâmetros, bem como, da verificação da qualidade dos parâmetros seguiu-se o mesmo procedimento realizado no item 3.2.2. Os dados observados em campo são apresentados nos Quadros 5 e 6:

QUADRO 5 - OBSERVAÇÕES DE CAMPO – ESTAÇÃO TOTAL NIVELADA

SÉRIE	BASE P/	DIREÇÃO HORIZONTAL		ÂNGULO ZENITAL		DIST. INCL. (m)
		PD	PI	PD	PI	
1ª	1	255° 04' 33,0"	75° 04' 35,0"	90° 00' 50,2"	269° 59' 06,3"	285,442
	2	259° 38' 50,0"	79° 38' 56,1"	90° 00' 50,7"	269° 59' 06,1"	265,787
	3	277° 38' 28,9"	97° 38' 30,8"	90° 01' 08,1"	269° 58' 50,0"	173,144
	4	215° 33' 38,4"	35° 33' 38,1"	88° 09' 58,4"	271° 50' 01,0"	185,308
	5	299° 21' 42,4"	119° 21' 46,3"	89° 59' 46,8"	270° 00' 13,2"	113,408
	6	7° 24' 01,1"	187° 23' 58,9"	86° 11' 44,6"	273° 48' 15,7"	60,814
2ª	1	255° 04' 30,1"	75° 04' 30,0"	90° 00' 50,6"	269° 59' 10,1"	285,442
	2	259° 38' 53,8"	79° 38' 56,8"	90° 00' 47,8"	269° 59' 14,8"	265,787
	3	277° 38' 28,8"	97° 38' 31,8"	90° 01' 10,6"	269° 58' 48,3"	173,144
	4	215° 33' 38,4"	35° 33' 37,8"	88° 09' 58,0"	271° 50' 06,0"	185,308
	5	299° 21' 44,4"	119° 21' 45,3"	89° 59' 47,3"	270° 00' 10,8"	113,408
	6	7° 24' 00,7"	187° 24' 00,0"	86° 11' 47,4"	273° 48' 12,8"	60,814
3ª	1	255° 04' 29,1"	75° 04' 34,0"	90° 00' 52,5"	269° 59' 53,0"	285,442
	2	259° 38' 51,9"	79° 38' 53,8"	90° 00' 46,4"	269° 59' 10,7"	265,787
	3	277° 38' 30,1"	97° 38' 30,3"	90° 01' 11,9"	269° 58' 47,8"	173,143
	4	215° 33' 38,4"	35° 33' 38,0"	88° 09' 59,0"	271° 50' 05,4"	185,308
	5	299° 21' 44,3"	119° 21' 45,3"	89° 59' 47,6"	270° 00' 10,9"	113,408
	6	7° 23' 59,6"	187° 23' 59,1"	86° 11' 45,8"	273° 48' 12,0"	60,814
4ª	1	255° 04' 31,1"	75° 04' 31,1"	90° 00' 52,0"	269° 59' 06,1"	285,442
	2	259° 38' 53,8"	79° 38' 53,8"	90° 00' 48,0"	269° 59' 08,7"	265,787
	3	277° 38' 29,7"	97° 38' 31,8"	90° 01' 11,0"	269° 58' 48,9"	173,144
	4	215° 33' 38,7"	35° 33' 37,9"	88° 09' 58,6"	271° 50' 03,8"	185,308
	5	299° 21' 41,8"	119° 21' 45,3"	89° 59' 47,8"	270° 00' 11,2"	113,408
	6	7° 23' 59,2"	187° 23' 59,4"	86° 11' 45,6"	273° 48' 13,8"	60,814

QUADRO 6 - OBSERVAÇÕES DE CAMPO – ESTAÇÃO TOTAL DESNIVELADA DE 7'

SÉRIE	BASE P/	DIREÇÃO HORIZONTAL		ÂNGULO ZENITAL		DIST. INCL. (m)
		PD	PI	PD	PI	
1ª	1	255° 03' 35,7"	75° 03' 33,8"	89° 51' 12,2"	270° 08' 46,7"	285,441
	2	259° 37' 51,6"	79° 37' 50,3"	89° 51' 13,2"	270° 08' 46,0"	265,787
	3	277° 37' 36,4"	97° 37' 36,0"	89° 51' 48,2"	270° 08' 12,0"	173,143
	4	215° 32' 34,7"	35° 32' 30,8"	88° 03' 16,7"	271° 56' 50,1"	185,308
	5	299° 20' 51,9"	119° 20' 52,8"	89° 52' 03,7"	270° 07' 54,8"	113,407
	6	7° 23' 44,1"	187° 23' 42,8"	86° 14' 15,2"	273° 45' 44,6"	60,814
2ª	1	255° 03' 34,8"	75° 03' 34,3"	89° 51' 13,0"	270° 08' 46,0"	285,441
	2	259° 37' 52,3"	79° 37' 51,8"	89° 51' 12,0"	270° 08' 48,0"	265,787
	3	277° 37' 36,0"	97° 37' 36,2"	89° 51' 49,0"	270° 08' 11,8"	173,143
	4	215° 32' 31,8"	35° 32' 32,8"	88° 03' 17,7"	271° 56' 47,8"	185,307
	5	299° 20' 52,2"	119° 20' 51,9"	89° 52' 03,0"	270° 07' 56,3"	113,407
	6	7° 23' 44,3"	187° 23' 41,8"	86° 14' 14,8"	273° 45' 44,3"	60,814
3ª	1	255° 03' 35,0"	75° 03' 34,2"	89° 51' 12,9"	270° 08' 45,0"	285,441
	2	259° 37' 52,0"	79° 37' 51,0"	89° 51' 12,8"	270° 08' 47,8"	265,787
	3	277° 37' 36,6"	97° 37' 36,4"	89° 51' 48,4"	270° 08' 13,0"	173,143
	4	215° 32' 33,3"	35° 32' 31,7"	88° 03' 17,1"	271° 56' 48,2"	185,307
	5	299° 20' 51,7"	119° 20' 52,3"	89° 52' 03,7"	270° 07' 55,3"	113,407
	6	7° 23' 43,8"	187° 23' 42,5"	86° 14' 16,0"	273° 45' 43,8"	60,814
4ª	1	255° 03' 35,2"	75° 03' 34,0"	89° 51' 12,5"	270° 08' 45,8"	285,441
	2	259° 37' 52,6"	79° 37' 51,2"	89° 51' 12,4"	270° 08' 47,8"	265,787
	3	277° 37' 36,4"	97° 37' 36,4"	89° 51' 48,8"	270° 08' 11,8"	173,143
	4	215° 32' 32,8"	35° 32' 32,1"	88° 03' 17,3"	271° 56' 48,3"	185,307
	5	299° 20' 52,0"	119° 20' 52,5"	89° 52' 02,9"	270° 07' 56,2"	113,407
	6	7° 23' 43,6"	187° 23' 42,1"	86° 14' 15,2"	273° 45' 43,5"	60,814

3.3 MÉTODO DE RELAÇÃO DA LINHA DE REFERÊNCIA E MONITORAMENTO DA POSIÇÃO DA ESTAÇÃO TOTAL

Esse experimento visou a união do Método de Relação da Linha de Referência com a utilização de pontos de controle para verificar a estabilidade da posição da Estação Total, possibilitando assim, o surgimento de uma metodologia que garanta precisão nas medidas angulares e lineares no monitoramento de pontos.

Sua metodologia consistiu em estacionar o equipamento sobre um tripé industrial (BASE) e distribuir os prismas (Pontos P1, P2, P3, P4 e P5) na área de

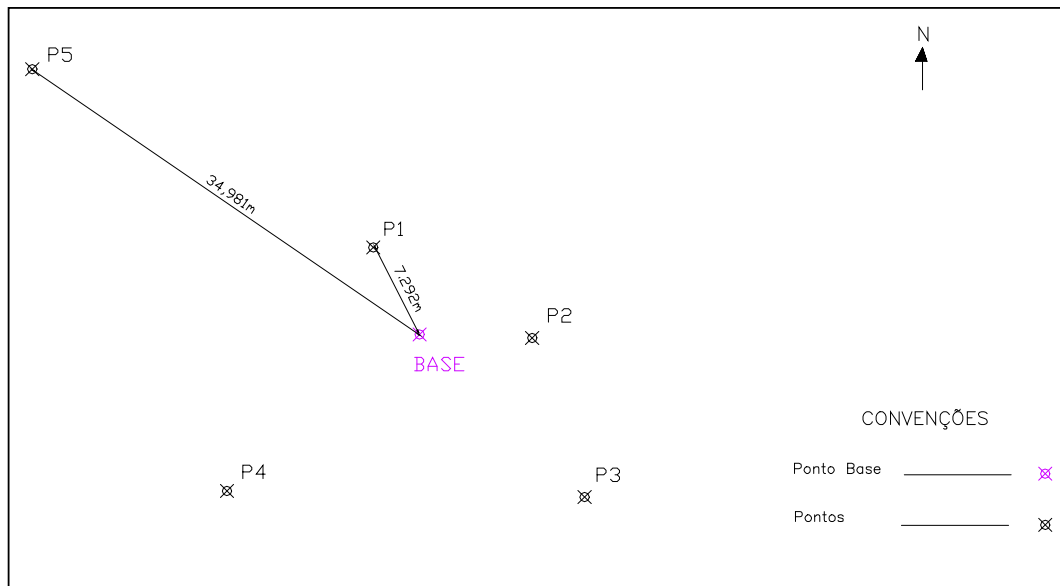
maneira que esses se mantivessem estáveis (figura 26 e figura 27); sendo definida como linha de referência a distância da Base até o ponto P1.

FIGURA 26 - DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS NA ÁREA DE LEVANTAMENTO



FONTE: AUTORA

FIGURA 27 - DISPOSIÇÃO DOS PONTOS NA ÁREA DE LEVANTAMENTO



A partir dessa disposição dos pontos, foram realizadas três séries de observações, com leituras em posição direta e inversa, de direções horizontais, ângulos zenitais e distâncias inclinadas para cada ponto, bem como, coleta de parâmetros ambientais (pressão e temperatura seca) e o horário das observações, com a Estação Total nivelada. Após essas observações, a estação foi desnivelada nas duas direções ($22'24,2''$ e $27'22,5''$), e o mesmo procedimento foi realizado. A figura 24 mostra o nível digital da estação, demonstrando como é possível quantificar esses valores.

FIGURA 24 - NÍVEL DIGITAL



FONTE: AUTORA

No Quadro 7 e 8, são apresentados os dados coletados nesse experimento:

QUADRO 7 - OBSERVAÇÕES EM CAMPO – ESTAÇÃO TOTAL NIVELADA

SÉRIE	BASE P/	HORA	DIREÇÃO HORIZONTAL		ÂNGULO ZENITAL		DISTÂNCIA INCLINADA (m)	TEMPERATURA (°C)		PRESSÃO (mmHg)
			PD	PI	PD	PI		SECA	ÚMIDA	
1ª	1	10:26	331° 58' 59,0"	151° 58' 43,6"	54° 54' 59,3"	305° 05' 02,7"	7,292	23,5	20,0	686,60
	2	10:30	92° 15' 10,1"	272° 14' 48,1"	65° 08' 08,9"	294° 51' 52,7"	8,432	24,0	20,0	686,60
	3	10:35	134° 46' 39,4"	314° 46' 35,6"	90° 18' 11,7"	269° 41' 50,5"	17,371	25,3	20,7	686,60
	4	10:38	230° 34' 47,0"	50° 34' 43,5"	91° 41' 11,8"	268° 18' 45,7"	18,554	24,7	20,1	686,60
	5	10:41	304° 25' 48,1"	124° 25' 47,8"	88° 49' 48,8"	271° 10' 13,8"	34,981	24,5	20,3	686,60
2ª	1	10:44	331° 59' 02,1"	151° 58' 51,7"	54° 54' 42,1"	305° 05' 18,9"	7,292	24,9	20,5	686,60
	2	10:46	92° 15' 11,6"	272° 14' 51,0"	65° 08' 25,6"	294° 51' 35,4"	8,432	24,7	20,3	686,60
	3	10:51	134° 46' 40,3"	314° 46' 33,6"	90° 18' 08,7"	269° 41' 50,8"	17,371	24,7	20,1	686,60
	4	10:56	230° 34' 45,0"	50° 34' 41,6"	91° 41' 15,0"	268° 18' 42,3"	18,554	25,2	20,5	686,60
	5	10:59	304° 25' 51,1"	124° 25' 46,8"	88° 49' 48,2"	271° 10' 11,8"	34,981	25,4	20,7	686,60
3ª	1	11:02	331° 59' 02,1"	151° 58' 51,4"	54° 54' 46,0"	305° 05' 14,8"	7,292	25,5	20,7	686,60
	2	11:05	92° 15' 10,1"	272° 14' 46,0"	65° 08' 24,1"	294° 51' 33,3"	8,432	24,9	20,0	686,60
	3	11:08	134° 46' 40,0"	314° 46' 41,2"	90° 18' 07,6"	269° 41' 53,8"	17,371	25,1	20,1	686,60
	4	11:11	230° 34' 46,6"	50° 34' 40,3"	91° 41' 12,5"	268° 18' 41,8"	18,554	25,3	20,6	686,60
	5	11:13	304° 25' 51,7"	124° 25' 41,6"	88° 49' 53,7"	271° 10' 14,7"	34,981	25,0	20,2	686,60

QUADRO 8 - OBSERVAÇÕES EM CAMPO- ESTAÇÃO TOTAL DESNIVELADA

SÉRIE	BASE P/	HORA	DIREÇÃO HORIZONTAL		ÂNGULO ZENITAL		DISTÂNCIA INCLINADA (m)	TEMPERATURA (°C)		PRESSÃO (mmHg)
			PD	PI	PD	PI		SECA	ÚMIDA	
1ª	1	11:20	331° 35' 03,5"	151° 34' 58,1"	54° 37' 42,8"	305° 22' 04,5"	7,291	24,9	20,2	686,60
	2	11:23	92° 29' 47,6"	272° 29' 26,9"	64° 49' 34,3"	295° 10' 19,9"	8,432	24,9	20,1	686,60
	3	11:26	134° 46' 30,6"	314° 46' 20,0"	90° 24' 51,7"	269° 35' 08,3"	17,371	25,1	20,1	686,60
	4	11:28	230° 34' 42,5"	50° 34' 37,6"	92° 15' 13,9"	267° 44' 43,2"	18,554	25,7	20,7	686,60
	5	11:30	304° 24' 28,1"	124° 24' 28,1"	88° 29' 17,6"	271° 30' 38,4"	34,981	25,5	20,5	686,60
2ª	1	11:33	331° 35' 09,4"	151° 35' 05,7"	54° 37' 38,9"	305° 22' 05,5"	7,291	25,3	20,3	686,60
	2	11:36	92° 29' 46,0"	272° 29' 30,0"	64° 49' 28,5"	295° 10' 19,9"	8,432	25,1	20,1	686,60
	3	11:39	134° 46' 26,6"	314° 46' 19,0"	90° 24' 53,6"	269° 35' 06,0"	17,371	24,9	20,1	686,60
	4	11:41	230° 34' 36,7"	50° 34' 34,1"	92° 15' 15,9"	267° 44' 34,1"	18,554	25,0	20,2	686,60
	5	11:43	304° 24' 30,1"	124° 24' 27,1"	88° 29' 19,8"	271° 30' 40,2"	34,981	25,2	20,4	686,60
3ª	1	11:46	331° 35' 07,1"	151° 35' 01,2"	54° 37' 40,3"	305° 22' 04,1"	7,291	25,1	20,5	686,60
	2	11:48	92° 29' 47,1"	272° 29' 28,0"	64° 49' 30,1"	295° 10' 22,1"	8,432	25,1	20,1	686,60
	3	11:52	134° 46' 28,1"	314° 46' 19,6"	90° 24' 52,1"	269° 35' 07,8"	17,371	24,9	20,1	686,60
	4	11:54	230° 34' 39,8"	50° 34' 36,0"	92° 15' 14,7"	267° 44' 33,8"	18,554	24,9	20,1	686,60
	5	11:57	304° 24' 27,8"	124° 24' 27,6"	88° 29' 18,1"	271° 30' 37,1"	34,981	25,1	20,1	686,60

De posse dos dados coletados partiu-se para a aplicação do Método de Relação da Linha de Referência, para o cálculo das coordenadas dos pontos, dos parâmetros, bem como, da verificação da qualidade dos mesmos. Para tanto, seguiram-se os procedimentos adotados nos itens 3.1.2 e 3.2.2. Os resultados obtidos pela aplicação dessa metodologia podem ser vistos no Capítulo 4.

4 RESULTADOS

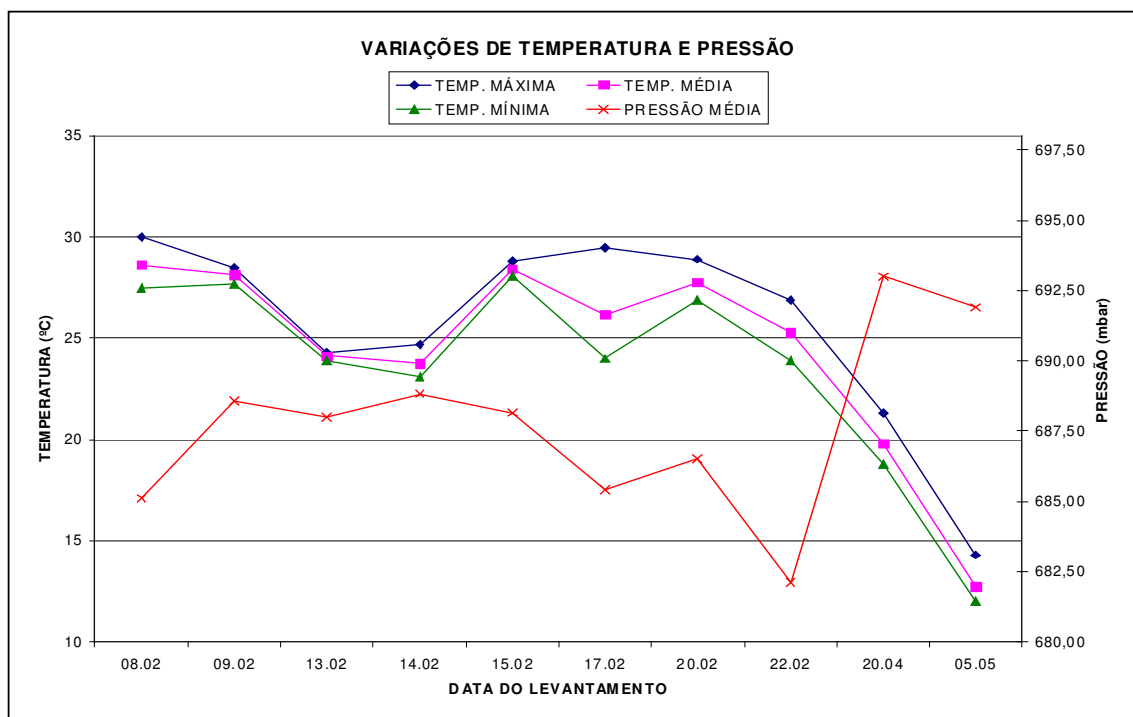
A seguir, são apresentados os resultados obtidos na realização dos experimentos.

4.1 AVALIAÇÃO DO MÉTODO DE RELAÇÃO DA LINHA DE REFERÊNCIA

4.1.1 Levantamento – Estação Total Elta S20

Para demonstrar as variações de temperatura e pressão que ocorreram durante os dias de levantamento, um gráfico foi gerado (gráfico 1). Este apresenta a variação máxima, mínima e média das temperaturas ao longo da realização do experimento.

GRÁFICO 1 - VARIAÇÕES DE TEMPERATURA E PRESSÃO DURANTE OS DIAS DE LEVANTAMENTO



A seguir são apresentados os cálculos para obtenção do fator de escala, bem como, para correção das distâncias.

a) Correção e horizontalização da Linha de Referência

A distância entre o Pilar Base e o ponto P1 (Linha de Referência) obtida no primeiro dia de levantamento, ou seja, às 15h39min do dia 8 de fevereiro (Quadro 1), foi corrigida do índice de refração, através das fórmulas adotadas pela IUGG, equação (2), a fim de se dar a escala apropriada a figura. Após feita a correção, a Linha de Referência foi reduzida ao plano, através da equação (18). O resultado encontrado foi de 285,452m.

b) Redução das demais distâncias ao plano

As demais distâncias observadas foram reduzidas ao plano através da equação (18).

c) Cálculo do fator de escala

O fator de escala (k) às 15h39min, do dia 8 de fevereiro, foi então determinado dividindo-se a distância corrigida (D_{cor}) pela distância observada reduzida (D_{obs}) da linha de referência, ou seja:

$$k_1 = \frac{D_{cor}}{D_{obs}} = \frac{285,452000}{285,439989} = 1,00004269861$$

Como k não é exatamente uma constante, pois muda lentamente com o tempo, a distância Base – Pilar P1 foi remeida dentro de um intervalo de aproximadamente 30 minutos. O fator de escala às 15h48min, quando a Linha de Referência foi observada novamente foi de:

$$k_2 = \frac{D_{\text{cor}}}{D_{\text{obs}}} = \frac{285,452000}{285,439990} = 1,00004269600$$

Assumindo que a mudança no fator de escala foi linear, como uma função de tempo sobre um intervalo de 9 minutos (15h39min – 15h48min), pode-se calcular o fator de escala às 15h42min e 15h45min, quando foram observadas medidas de distâncias sobre P2 e P3. Dentro do intervalo de 9 minutos a variação do fator de escala foi de 0,00000000261. Portanto:

$$\begin{array}{l} \text{(BASE, P1 – BASE, P1)} \\ 15\text{h}39\text{min} - 15\text{h}48\text{min} \longrightarrow 9 \text{ min} \longrightarrow \text{variação de } 0,00000000261 \end{array} \quad k_1 - k_2$$

Aplicou-se uma regra de três e obteve-se variação do fator de escala para os demais intervalos:

$$\begin{array}{l} \text{(BASE, P1 – BASE, P2)} \\ 15\text{h}39\text{min} - 15\text{h}42\text{min} \longrightarrow 3 \text{ min} \longrightarrow \text{variação de } 0,00000000087 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{(BASE, P1 – BASE, P3)} \\ 15\text{h}39\text{min} - 15\text{h}45\text{min} \longrightarrow 6 \text{ min} \longrightarrow \text{variação de } 0,00000000017 \end{array}$$

Os fatores de escala para o ponto P2 e P3 são então calculados através da subtração de suas variações do fator de escala obtido para a Linha de Referência, ou seja:

$$k_{P2} = 1,00004269861 - 0,0000000087 = 1,00004269774$$

$$k_{P3} = 1,00004269861 - 0,0000000017 = 1,00004269687$$

d) Correção das distâncias

Multiplicando-se as distâncias observadas reduzidas (D_{obs}) pelo fator de escala correspondente, obtiveram-se as distâncias corrigidas (D_{cor}), para P2 e P3.

$$D_{cor,P2} = 1,00004269774 \times 265,786 = 265,797$$

$$D_{cor,P3} = 1,00004269687 \times 173,144 = 173,151$$

Para as demais observações, o mesmo procedimento foi adotado.

Assim, no Quadro 9, os valores em negrito, na coluna 7, são os comprimentos da linha de referência inicialmente medidos e corrigidos, e os demais valores são os comprimentos corrigidos que foram calculados a partir do fator de escala da linha de referência. As distâncias medidas na 3ª série de observações não foram corrigidas, pois para o cálculo do fator de escala havia a necessidade da última observação ter sido feita sobre a linha de referência.

Para avaliar a qualidade desses resultados, as distâncias foram também corrigidas por meio de outros procedimentos, equações (1) e (2), a comparação de todos esses valores pode ser vista no Quadro 10 e nos gráficos 2, 3, 4, 5 e 6.

QUADRO 9 - DISTÂNCIAS CORRIGIDAS PELO MÉTODO DE RELAÇÃO DA LINHA DE REFERÊNCIA

continua

DATA	SÉRIE	BASE P/	HORA	DISTÂNCIA HORIZONTAL (m)	FATOR DE ESCALA (k)	DISTÂNCIA CORRIGIDA (m)
8/fev	1ª	1	15:39	285,440	1,00004269861	285,452
		2	15:42	265,786	1,00004269774	265,797
		3	15:45	173,144	1,00004269687	173,151
	2ª	1	15:48	285,440	1,00004269600	285,452
		2	15:53	265,786	1,00004269621	265,797
		3	15:58	173,144	1,00004269641	173,151
	3ª	1	16:04	285,440	1,00004269665	285,452
		2	16:09	265,786	-	-
		3	16:13	173,144	-	-
9/fev	1ª	1	11:46	285,440	1,00004269730	285,452
		2	11:51	265,786	1,00004269806	265,797
		3	11:56	173,144	1,00004269882	173,151
	2ª	1	11:59	285,440	1,00004269928	285,452
		2	12:04	265,786	1,00004123921	265,797
		3	12:08	173,144	1,00004007116	173,151
	3ª	1	12:11	285,441	1,00003919511	285,452
		2	12:15	265,786	-	-
		3	12:21	173,144	-	-
13/fev	1ª	1	10:33	285,440	1,00004269294	285,452
		2	10:44	265,786	1,00004269240	265,797
		3	10:49	173,143	1,00004269216	173,150
	2ª	1	10:53	285,440	1,00004269197	285,452
		2	10:57	265,786	1,00004269200	265,797
		3	11:01	173,143	1,00004269204	173,150
	3ª	1	11:06	285,440	1,00004269209	285,452
		2	11:10	265,786	-	-
		3	11:14	173,143	-	-
14/fev	1ª	1	9:35	285,440	1,00004269399	285,452
		2	9:40	265,787	1,00004134637	265,798
		3	9:44	173,143	1,00004026827	173,150
	2ª	1	9:48	285,441	1,00003919017	285,452
		2	9:54	265,786	1,00004059162	265,797
		3	9:59	173,143	1,00004175950	173,150
	3ª	1	10:03	285,440	1,00004269380	285,452
		2	10:08	265,786	-	-
		3	10:11	173,143	-	-
15/fev	1ª	1	14:23	285,439	1,00004619640	285,452
		2	14:28	265,785	1,00004619648	265,797
		3	14:32	173,142	1,00004619655	173,150
	2ª	1	14:38	285,439	1,00004619665	285,452
		2	14:43	265,785	1,00004619632	265,797
		3	14:46	173,142	1,00004619612	173,150
	3ª	1	14:51	285,439	1,00004619579	285,452
		2	14:54	265,785	-	-
		3	14:59	173,142	-	-

QUADRO 9 - DISTÂNCIAS CORRIGIDAS PELO MÉTODO DE RELAÇÃO DA LINHA DE REFERÊNCIA conclusão

DATA	SÉRIE	BASE P/	HORA	DISTÂNCIA HORIZONTAL (m)	FATOR DE ESCALA (k)	DISTÂNCIA CORRIGIDA (m)
17/fev	1ª	1	03:49	285,438	1,00004970094	285,452
		2	03:52	265,784	1,00004970099	265,797
		3	03:56	173,142	1,00004970107	173,151
	2ª	1	04:02	285,438	1,00004970118	285,452
		2	04:06	265,785	1,00004862315	265,798
		3	04:10	173,142	1,00004754512	173,150
	3ª	1	04:15	285,439	1,00004619757	285,452
		2	04:19	265,785	-	-
		3	04:22	173,142	-	-
20/fev	1ª	1	15:32	285,440	1,00004268863	285,452
		2	15:36	265,786	1,00004268865	265,797
		3	15:39	173,142	1,00004268866	173,149
	2ª	1	15:44	285,440	1,00004268868	285,452
		2	15:48	265,786	1,00004268889	265,797
		3	15:52	173,142	1,00004268910	173,149
	3ª	1	15:56	285,440	1,00004268931	285,452
		2	16:01	265,786	-	-
		3	16:06	173,142	-	-
22/fev	1ª	1	19:07	285,439	1,00004619003	285,452
		2	19:11	265,785	1,00004618949	265,797
		3	19:15	173,142	1,00004618894	173,150
	2ª	1	19:20	285,439	1,00004618826	285,452
		2	19:23	265,785	1,00004618845	265,797
		3	19:27	173,142	1,00004618870	173,150
	3ª	1	19:31	285,439	1,00004618895	285,452
		2	19:35	265,785	-	-
		3	19:39	173,142	-	-
20/abr	1ª	1	09:24	285,442	1,00003568584	285,452
		2	09:30	265,787	1,00003568507	265,796
		3	09:35	173,144	1,00003568443	173,150
	2ª	1	09:40	285,442	1,00003568380	285,452
		2	09:44	265,787	1,00003568489	265,796
		3	09:50	173,144	1,00003568652	173,150
	3ª	1	09:55	285,442	1,00003568788	285,452
		2	10:06	265,787	-	-
		3	10:10	173,144	-	-
5/mai	1ª	1	07:18	285,444	1,00002867988	285,452
		2	07:24	265,789	1,00002867933	265,797
		3	07:28	173,145	1,00002867896	173,150
	2ª	1	07:32	285,444	1,00002867859	285,452
		2	07:35	265,789	1,00002867887	265,797
		3	07:38	173,145	1,00002867914	173,150
	3ª	1	07:40	285,444	1,00002867933	285,452
		2	07:45	265,789	-	-
		3	07:48	173,145	-	-

No Quadro 10, a distância corrigida foi obtida a partir da média das três séries de observações realizadas, e o desvio-padrão foi calculado sobre o valor dessas médias das distâncias corrigidas.

QUADRO 10 - COMPARAÇÃO DAS DISTÂNCIAS CORRIGIDAS OBTIDAS PELO MÉTODO DE RELAÇÃO, FÓRMULAS ADOTADAS PELA IUGG E FÓRMULAS DO MANUAL DO EQUIPAMENTO

DATA	DISTÂNCIA HORIZONTAL - MÉDIA (m)	DISTÂNCIA CORRIGIDA - MÉDIA (m)					
		M. RELAÇÃO	σ (mm)	F. IUGG	σ (mm)	F. MANUAL	σ (mm)
8/fev	285,440	285,452	0,0	285,452	0,2	285,452	0,2
	265,786	265,797	0,0	265,797	0,2	265,797	0,2
	173,144	173,151	0,0	173,151	0,0	173,151	0,0
9/fev	285,440	285,452	0,0	285,452	0,6	285,452	0,6
	265,786	265,797	0,3	265,797	0,0	265,797	0,0
	173,144	173,151	0,3	173,151	0,1	173,151	0,1
13/fev	285,440	285,452	0,0	285,451	0,1	285,451	0,1
	265,786	265,797	0,0	265,796	0,0	265,796	0,0
	173,143	173,150	0,0	173,150	0,0	173,149	0,0
14/fev	285,440	285,452	0,0	285,451	0,6	285,451	0,6
	265,786	265,797	0,8	265,796	0,5	265,796	0,5
	173,143	173,150	0,2	173,149	0,1	173,149	0,1
15/fev	285,439	285,452	0,0	285,451	0,0	285,451	0,0
	265,785	265,797	0,0	265,796	0,1	265,796	0,1
	173,142	173,150	0,0	173,149	0,0	173,149	0,0
17/fev	285,438	285,452	0,0	285,450	0,4	285,450	0,3
	265,785	265,798	0,5	265,795	0,1	265,795	0,1
	173,142	173,150	0,3	173,149	0,4	173,149	0,4
20/fev	285,440	285,452	0,0	285,452	0,1	285,452	0,1
	265,786	265,797	0,0	265,797	0,2	265,797	0,2
	173,142	173,149	0,0	173,149	0,1	173,149	0,1
22/fev	285,439	285,452	0,0	285,451	0,3	285,451	0,3
	265,785	265,797	0,0	265,796	0,3	265,796	0,3
	173,142	173,150	0,0	173,149	0,2	173,149	0,2
20/abr	285,442	285,452	0,0	285,451	0,2	285,451	0,2
	265,787	265,796	0,0	265,796	0,3	265,796	0,3
	173,144	173,150	0,0	173,150	0,2	173,150	0,2
5/mai	285,444	285,452	0,0	285,451	0,2	285,451	0,2
	265,789	265,797	0,0	265,796	0,2	265,796	0,2
	173,145	173,150	0,0	173,150	0,2	173,150	0,2

GRÁFICO 2 - DISTÂNCIAS CORRIGIDAS (BASE - PONTO P1)

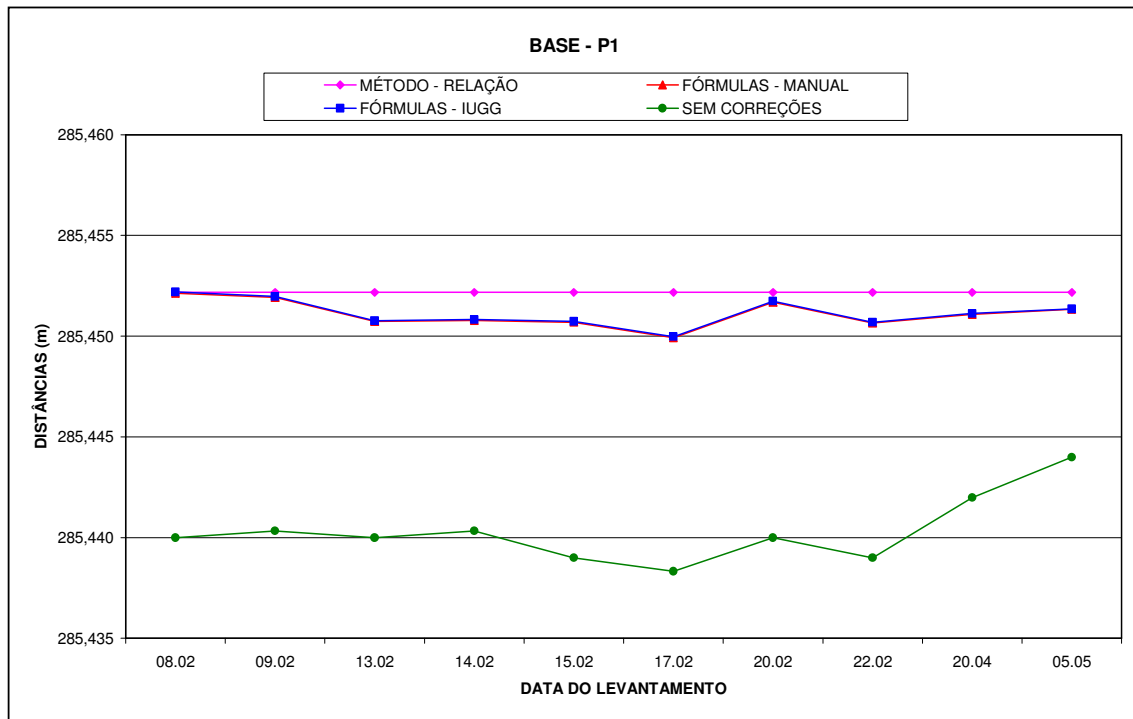


GRÁFICO 3 - DISTÂNCIAS CORRIGIDAS (BASE - PONTO P2)

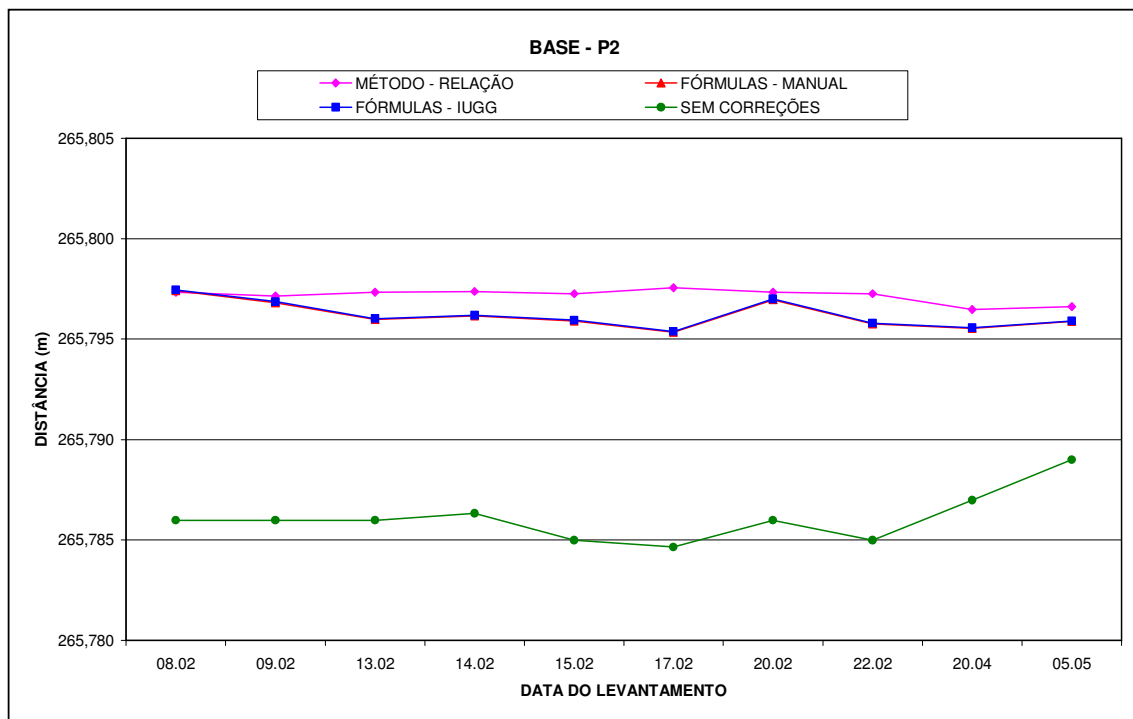


GRÁFICO 4 - DISTÂNCIAS CORRIGIDAS (BASE - PONTO P3)

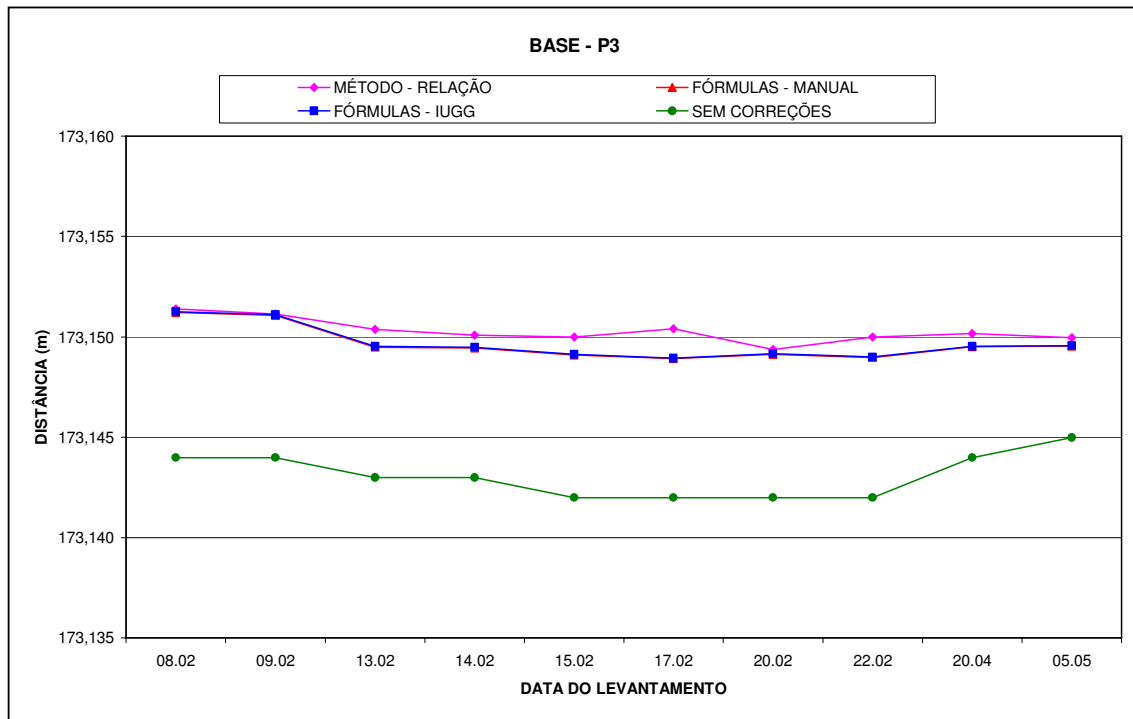


GRÁFICO 5 - COMPARAÇÃO DAS DISTÂNCIAS CORRIGIDAS OBTIDAS PELO MÉTODO DE RELAÇÃO, FÓRMULAS ADOTADAS PELA IUGG E FÓRMULAS DO MANUAL DO EQUIPAMENTO (BASE - PONTO P2)

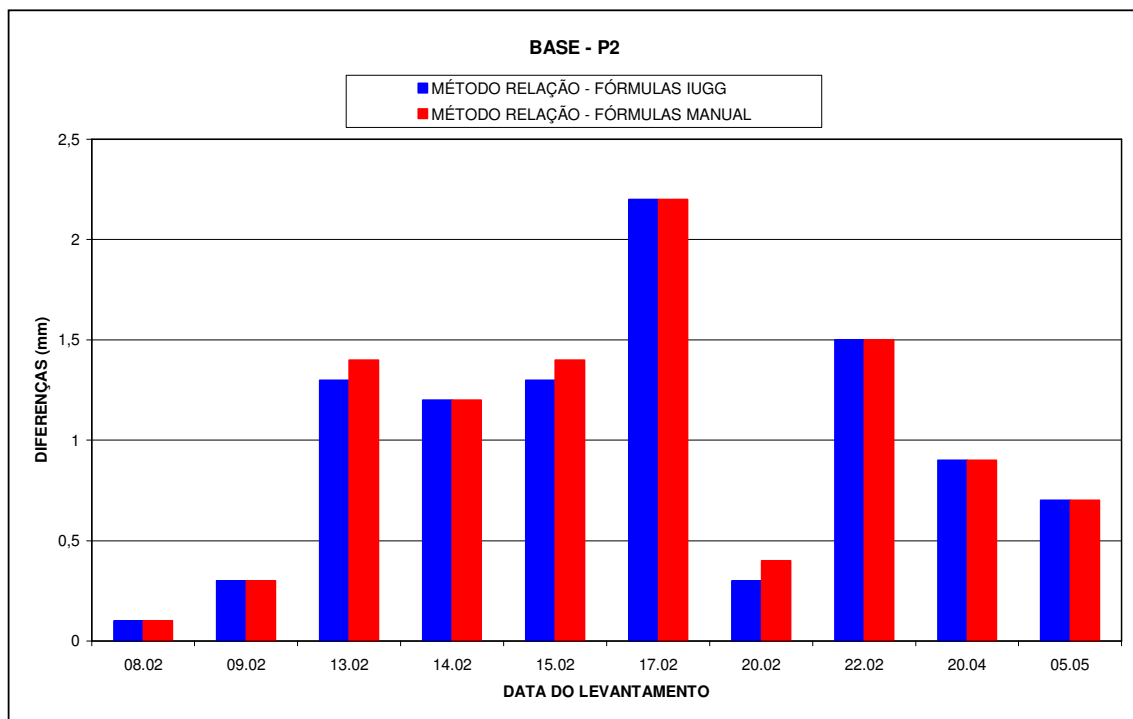
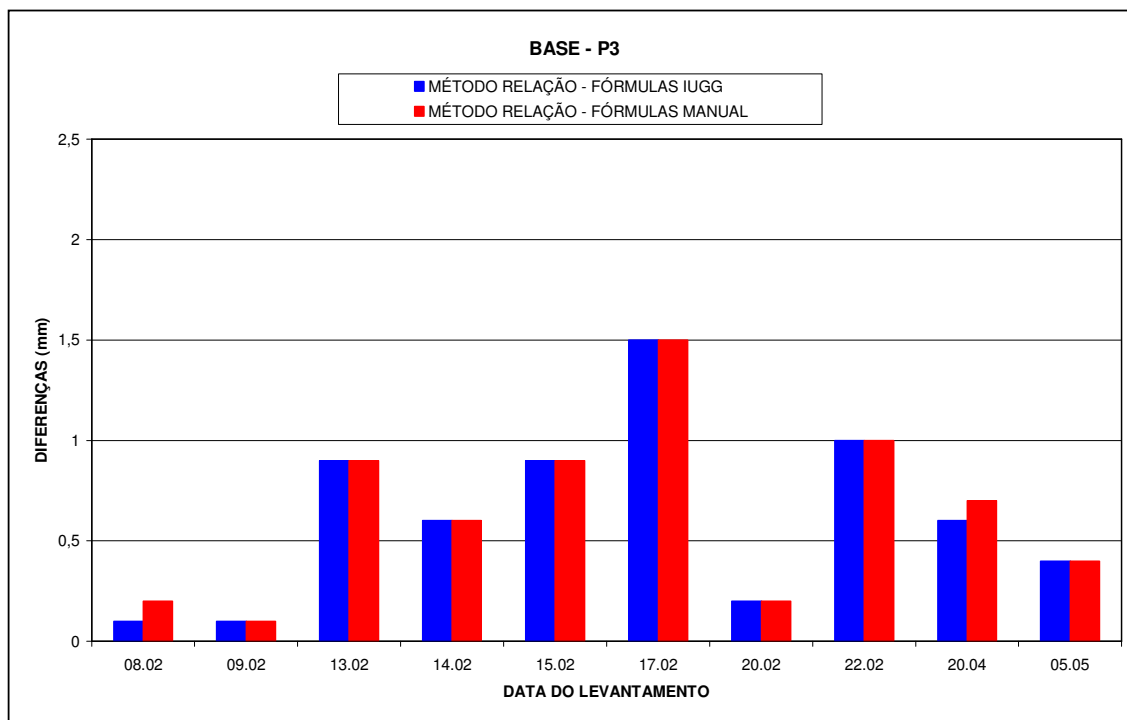


GRÁFICO 6 - COMPARAÇÃO DAS DISTÂNCIAS CORRIGIDAS OBTIDAS PELO MÉTODO DE RELAÇÃO, FÓRMULAS ADOTADAS PELA IUGG E FÓRMULAS DO MANUAL DO EQUIPAMENTO (BASE - PONTO P3)



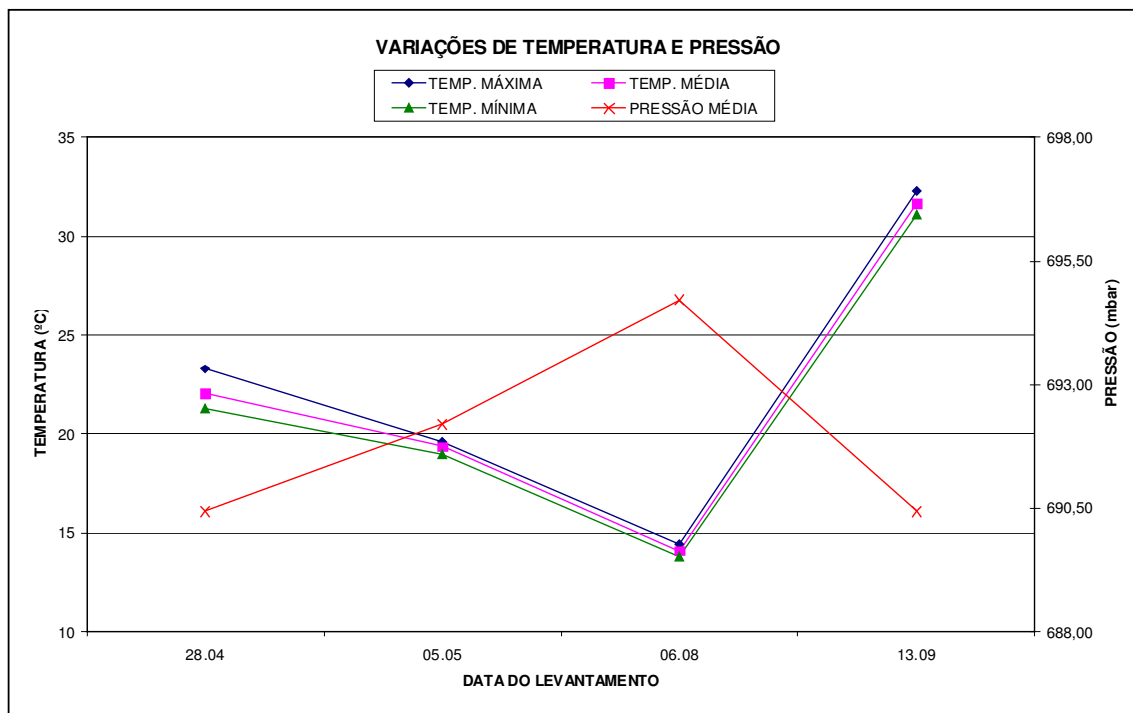
Esse teste demonstrou que a diferença entre os valores das distâncias obtidas pela aplicação das fórmulas adotadas pela IUGG e das fórmulas constantes no manual, é inferior ao décimo de milímetro. Porém, quando comparadas com as distâncias corrigidas pelo fator de escala, a discrepância encontrada variou de centésimos de milímetros até 2,2 mm. Apesar de terem sido encontradas diferenças nos valores na ordem de milímetros, elas estão dentro da precisão nominal do equipamento.

4.1.2 Levantamento – Estação Total TC 403L

Os procedimentos adotados para tratamento das observações obtidas com a Estação TC 403L são os mesmos que constam no item 4.1.1.

Abaixo pode ser visto o gráfico das variações de temperatura e pressão que ocorreram durante os dias de levantamento.

GRÁFICO 7 - VARIAÇÕES DE TEMPERATURA E PRESSÃO DURANTE OS DIAS DE LEVANTAMENTO



No Quadro 11 são apresentados as distâncias horizontais, calculadas através da equação (18), o horário de mensuração das distâncias, o fator de escala (k) e as distâncias corrigidas pelo Método de Relação da Linha de Referência. Ressalta-se que as distâncias medidas na 3ª série de observações não foram corrigidas, pois para o cálculo do fator de escala havia a necessidade da última observação ter sido feita sobre a linha de referência.

Para avaliar a qualidade desses resultados, as distâncias foram também corrigidas pelas fórmulas adotadas pela IUGG e também pelas fórmulas que constam no manual do equipamento, equações (1) e (2), a comparação de todos esses valores pode ser vista no Quadro 12 e nos gráficos 8, 9, 10, 11 e 12.

QUADRO 11 - DISTÂNCIAS CORRIGIDAS PELO MÉTODO DE RELAÇÃO DA LINHA DE REFERÊNCIA

DATA	SÉRIE	BASE P/	HORA	DISTÂNCIA HORIZONTAL (m)	FATOR DE ESCALA (k)	DISTÂNCIA CORRIGIDA (m)
28/abr	1ª	1	10:40	285,407	1,00003601365	285,417
		2	10:44	265,752	1,00003600800	265,762
		3	10:48	173,108	1,00003600234	173,114
	2ª	1	10:52	285,407	1,00003599669	285,417
		2	11:00	265,752	1,00003599831	265,762
		3	11:04	173,108	1,00003599912	173,114
	3ª	1	11:08	285,407	1,00003599993	285,417
		2	11:14	265,752	-	-
		3	11:18	173,108	-	-
5/mai	1ª	1	10:10	285,409	1,00002900955	285,417
		2	10:16	265,752	1,00002975932	265,760
		3	10:20	173,109	1,00003025918	173,114
	2ª	1	10:24	285,408	1,00003075903	285,417
		2	10:29	265,752	1,00003138472	265,761
		3	10:33	173,109	1,00003188527	173,115
	3ª	1	10:38	285,408	1,00003251096	285,417
		2	10:43	265,752	-	-
		3	10:48	173,109	-	-
6/ago	1ª	1	14:25	285,408	1,00003075843	285,417
		2	14:32	265,754	1,00003020100	265,762
		3	14:38	173,109	1,00002972320	173,115
	2ª	1	14:47	285,409	1,00002900651	285,417
		2	14:52	265,754	1,00003009597	265,762
		3	14:57	173,110	1,00003118544	173,115
	3ª	1	15:03	285,408	1,00003249280	285,417
		2	15:07	265,754	-	-
		3	15:12	173,110	-	-
13/set	1ª	1	14:10	285,403	1,00004827402	285,417
		2	14:15	265,749	1,00004760017	265,762
		3	14:19	173,107	1,00004706110	173,116
	2ª	1	14:23	285,404	1,00004652203	285,417
		2	14:27	265,749	1,00004652203	265,761
		3	14:32	173,107	1,00004652203	173,115
	3ª	1	14:36	285,404	1,00004652203	285,417
		2	14:42	265,749	-	-
		3	14:46	173,107	-	-

QUADRO 12 - COMPARAÇÃO DAS DISTÂNCIAS CORRIGIDAS OBTIDAS PELO MÉTODO DE RELAÇÃO, FÓRMULAS ADOTADAS PELA IUGG E FÓRMULAS DO MANUAL DO EQUIPAMENTO

DATA	DISTÂNCIA HORIZONTAL - MÉDIA (m)	DISTÂNCIA CORRIGIDA - MÉDIA (m)					
		M. RELAÇÃO	σ (mm)	F. IUGG	σ (mm)	F. MANUAL	σ (mm)
28/abr	285,407	285,417	0,0	285,417	0,2	285,417	0,2
	265,752	265,762	0,0	265,761	0,1	265,761	0,1
	173,108	173,114	0,0	173,114	0,0	173,114	0,0
5/mai	285,408	285,417	0,0	285,418	0,5	285,417	0,5
	265,752	265,760	0,7	265,761	0,3	265,761	0,3
	173,109	173,114	0,2	173,115	0,0	173,114	0,0
6/ago	285,408	285,417	0,0	285,416	0,5	285,416	0,5
	265,754	265,762	0,0	265,761	0,0	265,761	0,0
	173,110	173,115	0,5	173,114	0,3	173,114	0,3
13/set	285,404	285,417	0,0	285,416	0,3	285,416	0,3
	265,749	265,762	0,2	265,761	0,2	265,761	0,2
	173,107	173,115	0,4	173,115	0,3	173,115	0,3

GRÁFICO 8 - DISTÂNCIAS CORRIGIDAS (BASE - PONTO P1)

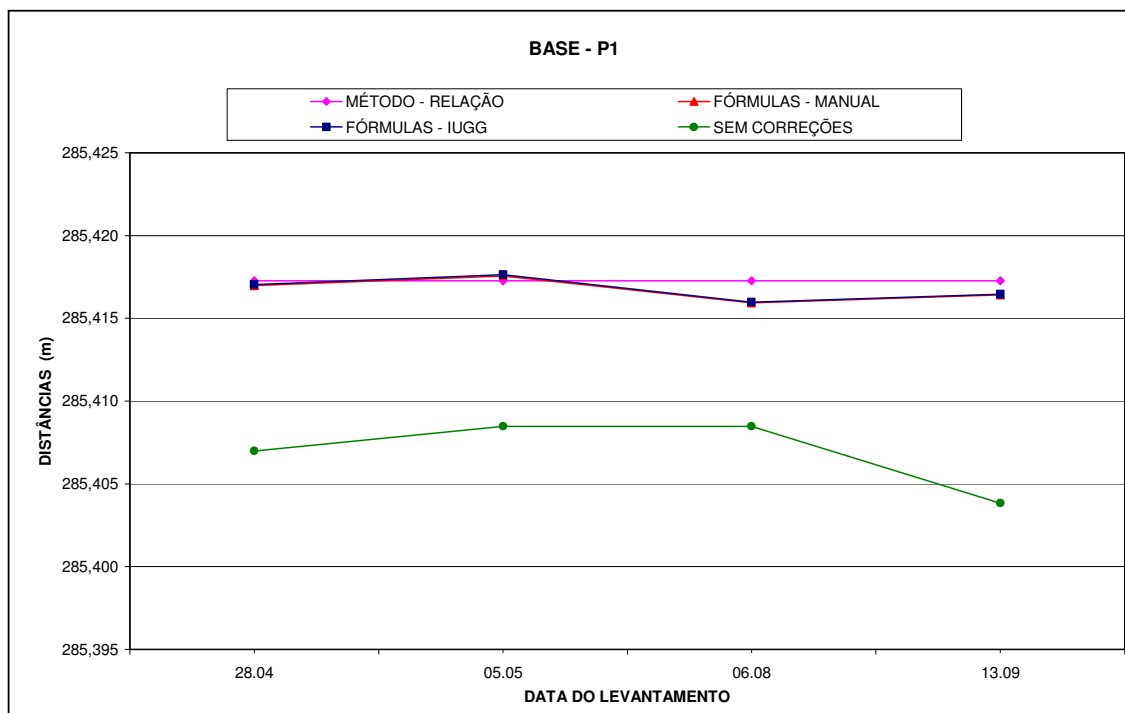


GRÁFICO 9 - DISTÂNCIAS CORRIGIDAS (BASE - PONTO P2)

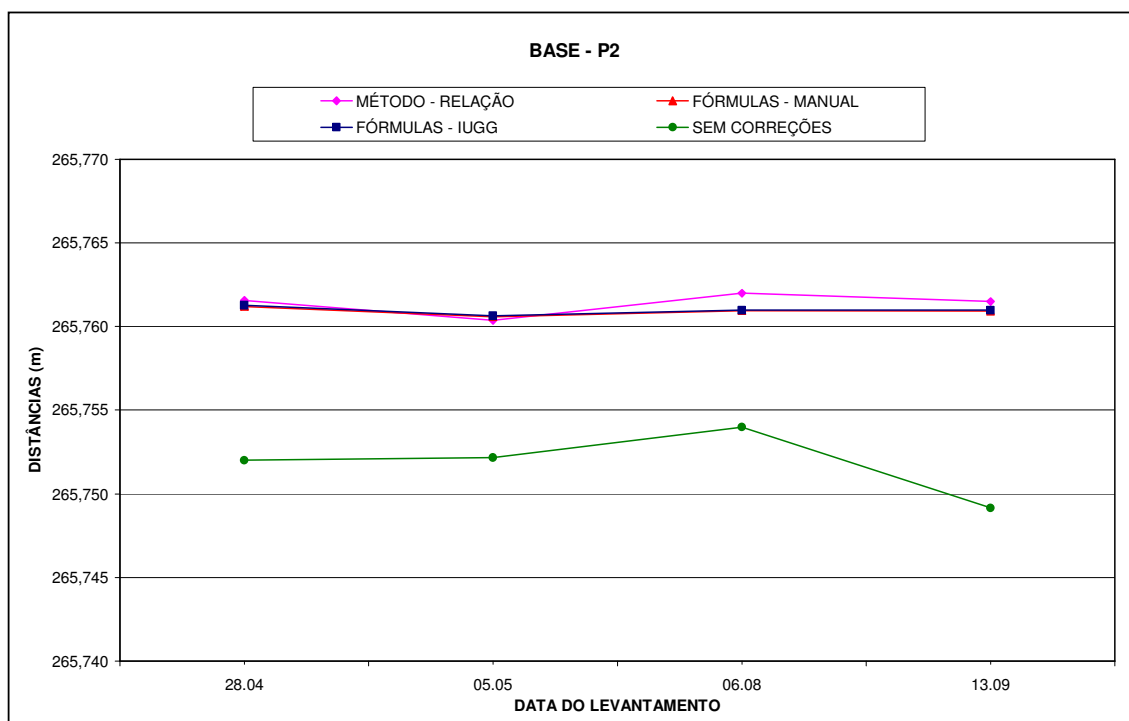


GRÁFICO 10 - DISTÂNCIAS CORRIGIDAS (BASE - PONTO P3)

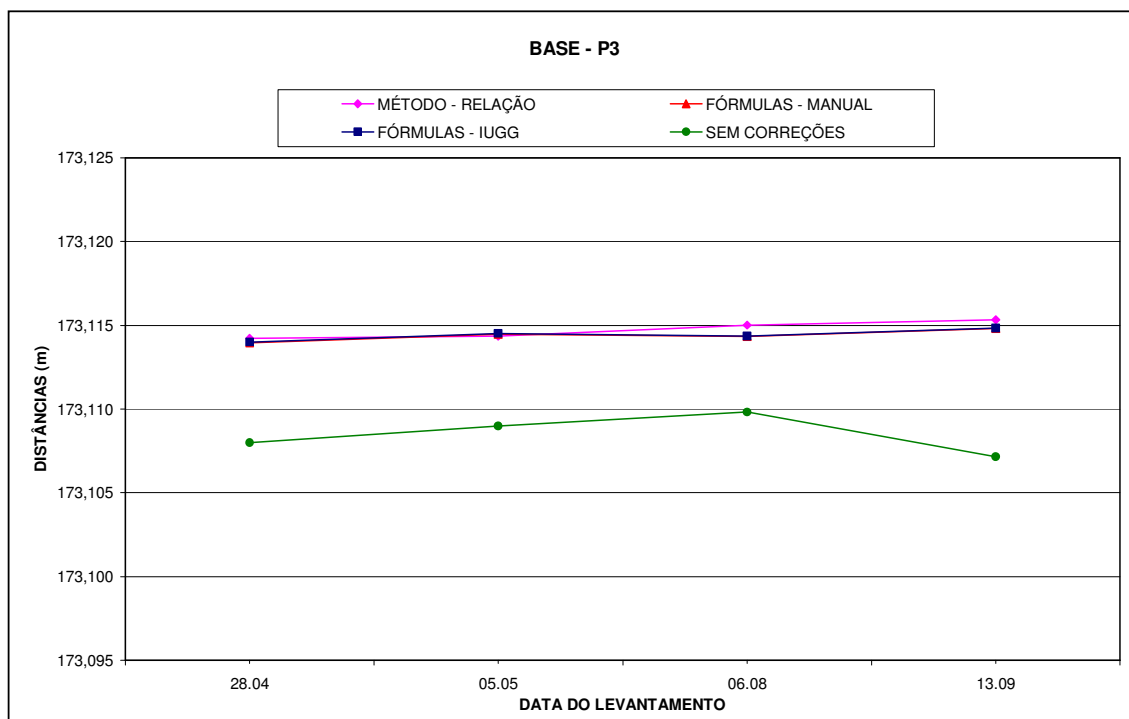


GRÁFICO 11 - COMPARAÇÃO DAS DISTÂNCIAS CORRIGIDAS OBTIDAS PELO MÉTODO DE RELAÇÃO, FÓRMULAS ADOTADAS PELA IUGG E FÓRMULAS DO MANUAL DO EQUIPAMENTO (BASE - PONTO P2)

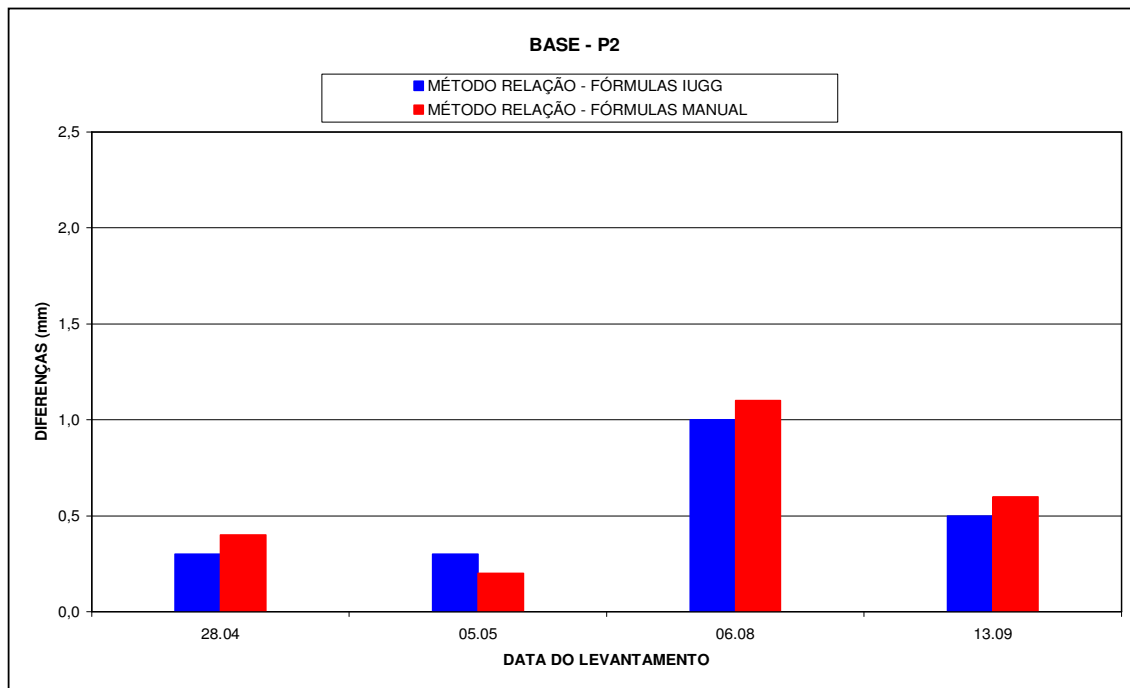
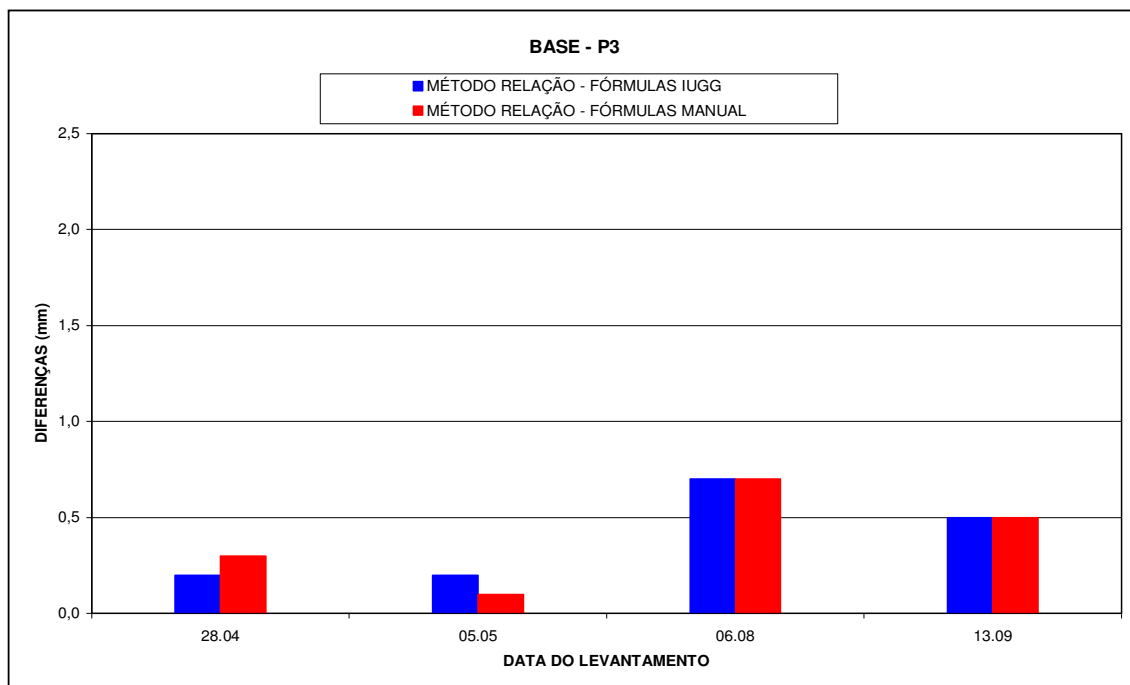


GRÁFICO 12 - COMPARAÇÃO DAS DISTÂNCIAS CORRIGIDAS OBTIDAS PELO MÉTODO DE RELAÇÃO, FÓRMULAS ADOTADAS PELA IUGG E FÓRMULAS DO MANUAL DO EQUIPAMENTO (BASE - PONTO P3)



4.2 MONITORAMENTO DA POSIÇÃO DA ESTAÇÃO TOTAL ATRAVÉS DO USO DE PONTOS DE CONTROLE

Esse experimento implicou em observações realizadas em campo e em Laboratório, com a Estação Total nivelada e desnivelada. Foram efetuados cálculos dos parâmetros de transformação entre os dois referenciais, bem como, um teste de verificação da qualidade desses parâmetros.

4.2.1 Teste em Laboratório

Primeiramente foram calculados os ângulos horizontais e verticais para cada ponto, os Quadros 13 e 14 apresentam os valores médios dos ângulos para as observações com a Estação nivelada e desnivelada de 2', respectivamente.

Após o cálculo destes, partiu-se para o cálculo das coordenadas dos pontos no referencial da estação, através das equações (9), (10) e (11).

QUADRO 13 - ÂNGULOS HORIZONTAIS E VERTICAIS
- ESTAÇÃO NIVELADA

Ponto Visado	Ângulo Horizontal (Média)	Ângulo Vertical (Média)
1	0° 00' 00,0''	93° 17' 31,9''
2	59° 25' 29,8''	93° 49' 38,3''
3	343° 15' 20,8''	94° 48' 05,7''
4	90° 29' 00,3''	96° 13' 19,5''
5	184° 21' 51,0''	101° 45' 42,8''
6	225° 30' 51,7''	78° 12' 28,5''

QUADRO 14 - ÂNGULOS HORIZONTAIS E VERTICAIS
- ESTAÇÃO DESNIVELADA DE 2'

Ponto Visado	Ângulo Horizontal (Média)	Ângulo Vertical (Média)
1	0° 00' 00,0''	93° 14' 52,4''
2	59° 25' 30,5''	93° 47' 30,0''
3	343° 15' 25,7''	94° 45' 55,5''
4	90° 29' 00,1''	96° 12' 15,5''
5	184° 22' 06,5''	101° 48' 04,8''
6	225° 30' 51,0''	78° 14' 56,0''

Foram formados dois conjuntos de coordenadas para cada ponto, em referenciais diferentes, conforme são apresentados nos Quadros 15 e 16.

QUADRO 15 - COORDENADAS NO REFERENCIAL DA ESTAÇÃO (NIVELADA)

PONTO	COORDENADAS (m)		
	X	Y	Z
1	0,000	3,691	-0,212
2	2,901	1,714	-0,225
3	-0,725	2,411	-0,212
4	2,003	-0,017	-0,218
6	-1,841	-1,808	0,539

QUADRO 16 - COORDENADAS NO REFERENCIAL DA ESTAÇÃO (DESNIVELADA)

Ponto Visado	COORDENADAS (m)		
	X	Y	Z
1	0,000	3,691	-0,209
2	2,901	1,714	-0,223
3	-0,725	2,412	-0,210
4	2,003	-0,017	-0,218
6	-1,841	-1,808	0,537

Considerando que esses conjuntos de coordenadas estão em referenciais diferentes, os ângulos de rotação, translação e o fator de escala da estação foram determinados utilizando o Modelo Paramétrico, através do modelo matemático da Transformação de Helmert, equação (20).

QUADRO 17 - PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO

	PARÂMETROS
$x_0^{(1)}$	0,00007
$y_0^{(2)}$	0,00003
$z_0^{(3)}$	-0,00004
$\epsilon x^{(4)}$	0° 02' 34,1''
$\epsilon y^{(5)}$	- 0° 00' 58,3''
$\epsilon z^{(6)}$	- 0° 00' 05,9''
$\delta^{(7)}$	0,99999

(1), (2) e (3) Parâmetros de Translação em m;

(4), (5) e (6) Parâmetros de Rotação;

(7) Fator de Escala

Com o intuito de avaliar os parâmetros obtidos dessa transformação, o ponto P5 foi deixado de fora do ajustamento e suas coordenadas foram calculadas através da aplicação dos parâmetros nas coordenadas obtidas com a estação desnivelada. Estas foram comparadas com as calculadas pelas fórmulas (9), (10) e (11), e são apresentadas no Quadro 18. Verifica-se que as diferenças encontradas são da ordem de décimos de milímetros, ou seja, as coordenadas não apresentam diferenças significativas.

QUADRO 18 - COMPARAÇÃO DE COORDENADAS

PONTO	COORDENADAS (m)		DIFERENÇA (m)
	*	**	
X	-0,2050	-0,2052	0,0002
Y	-2,6864	-2,6864	0,0000
Z	-0,5610	-0,5608	-0,0002

(1) coordenadas obtidas pelas equações (9), (10) e (11)

(2) coordenadas calculadas pela aplicação dos parâmetros nas coordenadas da estação desnivelada

Além disso, testes estatísticos também foram utilizados para avaliar a qualidade do ajustamento, nesse caso, foi aplicado o teste Qui-Quadrado para

comparação entre σ_0^2 e $\hat{\sigma}_0^2$. A variância de peso a priori foi adotada como sendo igual a unidade e a variância calculada a posteriori resultou em:

$$\chi_{\text{calculado}}^{*2} = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} v = \frac{\mathbf{V}^T \mathbf{P} \mathbf{V}}{\sigma_0^2} = 4,61 \times 10^{-8}$$

A hipótese básica testada é:

$$H_0 : \sigma_0^2 = \hat{\sigma}_0^2$$

e, a hipótese alternativa:

$$H_1 : \sigma_0^2 \neq \hat{\sigma}_0^2$$

comparando o valor calculado, com os valores teóricos, tem-se:

$$\chi_{\text{teórico}}^2 \quad \text{com } \alpha = 5\%; \quad 1 - 0,5 \alpha = 0,975,$$

$$\chi_{8, 0,975}^2 = 21,96$$

Portanto, H_0 não é rejeitada ao nível de significância de 5%.

4.2.2 Teste na Base de Classificação da UFPR

Os procedimentos adotados para a realização deste teste são os mesmos que constam no item 4.2.1. Nos Quadros 19 e 20, são apresentados os ângulos horizontais e verticais médios de cada ponto. A partir desses, foram calculadas as coordenadas dos pontos no referencial da estação nivelada e no referencial da estação desnivelada de 7'.

QUADRO 19 - ÂNGULOS HORIZONTAIS E VERTICAIS
- ESTAÇÃO NIVELADA

Ponto Visado	Ângulo Horizontal (Média)	Ângulo Vertical (Média)
1	0° 00' 00,0''	90° 00' 46,2''
2	4° 34' 22,1''	90° 00' 49,1''
3	22° 33' 58,6''	90° 01' 10,8''
4	320° 29' 06,5''	88° 09' 57,2''
5	44° 17' 12,7''	89° 59' 47,9''
6	112° 19' 28,1''	86° 11' 46,1''

QUADRO 20 - ÂNGULOS HORIZONTAIS E VERTICAIS
- ESTAÇÃO DESNIVELADA DE 7'

Ponto Visado	Ângulo Horizontal (Média)	Ângulo Vertical (Média)
1	0° 00' 00,0''	89° 51' 13,4''
2	4° 34' 17,0''	89° 51' 12,6''
3	22° 34' 01,7''	89° 51' 48,2''
4	320° 28' 57,9''	88° 03' 14,3''
5	44° 17' 17,5''	89° 52' 03,8''
6	112° 20' 08,5''	86° 14' 15,6''

Foram formados dois conjuntos de coordenadas para cada ponto, em referenciais diferentes (referencial da estação nivelada e referencial da estação desnivelada), conforme são apresentados nos Quadros 21 e 22.

QUADRO 21 - COORDENADAS NO REFERENCIAL DA ESTAÇÃO (NIVELADA)

PONTO	COORDENADAS (m)		
	X	Y	Z
1	0,000	285,441	-0,064
2	21,190	264,941	-0,063
3	66,444	159,887	-0,059
4	-117,846	142,884	5,931
6	56,132	-23,049	4,034

QUADRO 22 - COORDENADAS NO REFERENCIAL DA ESTAÇÃO (DESNIVELADA)

Ponto Visado	COORDENADAS (m)		
	X	Y	Z
1	0,000	285,440	0,729
2	21,183	264,941	0,680
3	66,446	159,885	0,413
4	-117,845	142,569	6,293
6	56,130	-23,061	3,990

Os parâmetros de transformação entre os dois referenciais, foram encontrados utilizando o Modelo Paramétrico (ver 2.6.2) e são mostrados no Quadro 23.

QUADRO 23 - PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO

	PARÂMETROS	DESVIO PADRÃO (mm)
$x_0^{(1)}$	-0,0002	0,3
$y_0^{(2)}$	-0,0010	0,3
$z_0^{(3)}$	-0,0036	0,3
$\epsilon x^{(4)}$	0° 09' 31,3"	0,0
$\epsilon y^{(5)}$	- 0° 01' 07,3"	0,0
$\epsilon z^{(6)}$	0° 00' 00,4"	0,0
$\delta^{(7)}$	1,0000	0,0

(1), (2) e (3) Parâmetros de Translação em m;

(4), (5) e (6) Parâmetros de Rotação;

(7) Fator de Escala

As coordenadas do ponto P5 (observações com a estação nivelada), determinadas diretamente pelas equações (9), (10) e (11), foram comparadas com as calculadas pela aplicação dos parâmetros de transformação nas coordenadas obtidas com a estação desnivelada de 7' (Quadro 24). As discrepâncias encontradas são da ordem de milímetros, apesar de estarem dentro da precisão nominal do instrumento, acredita-se que alguns fatores podem ter contribuído para essa diferença, tais como: falta de experiência do observador, dificuldade na pontaria, entre outros.

QUADRO 24 - COMPARAÇÃO DE COORDENADAS

PONTO	COORDENADAS (m)		DIFERENÇA (m)
	*	**	
5			
X	79,187	79,188	-0,002
Y	81,183	81,180	0,002
Z	0,007	0,007	-0,001

(1) coordenadas obtidas pelas equações (9), (10) e (11)

(2) coordenadas calculadas pela aplicação dos parâmetros nas coordenadas da estação desnivelada

O teste Qui-Quadrado foi aplicado para a determinação da qualidade do ajustamento. A hipótese básica testada é:

$$H_0 : \sigma_0^2 = \hat{\sigma}_0^2$$

e, a hipótese alternativa:

$$H_1 : \sigma_0^2 \neq \hat{\sigma}_0^2$$

A variância de peso a priori foi adotada como sendo igual a unidade e a variância calculada a posteriori resultou em:

$$\chi_{\text{calculado}}^{*2} = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} v = \frac{V^T P V}{\sigma_0^2} = 9,74 \times 10^{-5}$$

comparando o valor calculado, com os valores teóricos, tem-se:

$$\chi_{\text{teórico}}^2 \text{ com } \alpha = 5\%; \quad 1-0,5 \alpha = 0,975,$$

$$\chi_{8, 0,975}^2 = 21,96$$

Portanto, H_0 não é rejeitada ao nível de significância de 5%.

4.3 MÉTODO DE RELAÇÃO DA LINHA DE REFERÊNCIA E MONITORAMENTO DA POSIÇÃO DA ESTAÇÃO TOTAL

Os procedimentos adotados para a realização deste teste são os mesmos que constam nos itens 4.1.1 e 4.2.1, tanto para as observações obtidas com a estação nivelada quanto para as obtidas com ela desnivelada. Nos Quadros 25 e 26 são apresentadas as distâncias horizontais, calculadas através da equação (18), o horário de mensuração das distâncias, o fator de escala (k) e as distâncias corrigidas pelo Método de Relação da Linha de Referência.

QUADRO 25 - DISTÂNCIAS CORRIGIDAS PELO MÉTODO DE RELAÇÃO DA LINHA DE REFERÊNCIA - ESTAÇÃO NIVELADA

DATA	SÉRIE	BASE P/	HORA	DISTÂNCIA HORIZONTAL (m)	FATOR DE ESCALA (k)	DISTÂNCIA CORRIGIDA (m)
14/dez	1ª	1	10:26	5,967	1,00003776127	5,967
		2	10:30	7,652	1,00005040057	7,653
		3	10:35	17,370	1,00006619969	17,371
		4	10:38	18,544	1,00007567917	18,545
		5	10:41	34,975	1,00008515864	34,978
	2ª	1	10:44	5,967	1,00009463812	5,967
		2	10:46	7,653	1,00009312430	7,653
		3	10:51	17,370	1,00008933975	17,371
		4	10:56	18,544	1,00008555520	18,546
		5	10:59	34,975	1,00008328446	34,978
	3ª	1	11:02	5,967	1,00008101373	5,967
		2	11:05	7,653	-	-
		3	11:08	17,370	-	-
		4	11:11	18,544	-	-
		5	11:13	34,975	-	-

QUADRO 26 - DISTÂNCIAS CORRIGIDAS PELO MÉTODO DE RELAÇÃO DA LINHA DE REFERÊNCIA - ESTAÇÃO DESNIVELADA

DATA	SÉRIE	BASE P/	HORA	DISTÂNCIA HORIZONTAL (m)	FATOR DE ESCALA (k)	DISTÂNCIA CORRIGIDA (m)
14/dez	1ª	1	11:20	5,945	1,00003889260	5,946
		2	11:23	7,631	1,00004083850	7,632
		3	11:26	17,371	1,00004278439	17,371
		4	11:28	18,540	1,00004408166	18,540
		5	11:30	34,969	1,00004537892	34,970
	2ª	1	11:33	5,945	1,00004732482	5,946
		2	11:36	7,631	1,00004621287	7,631
		3	11:39	17,371	1,00004510092	17,371
		4	11:41	18,540	1,00004435962	18,540
		5	11:43	34,969	1,00004361832	34,970
	3ª	1	11:46	5,945	1,00004250637	5,946
		2	11:48	7,631	-	-
		3	11:52	17,371	-	-
		4	11:54	18,540	-	-
		5	11:57	34,969	-	-

Já nos Quadros 27 e 28 podem ser visualizadas a média das distâncias corrigidas e seu respectivo desvio-padrão.

QUADRO 27 - DISTÂNCIAS CORRIGIDAS MÉDIAS – ESTAÇÃO NIVELADA

DATA	DISTÂNCIA HORIZONTAL - MÉDIA (m)	DISTÂNCIA CORRIGIDA (m)	
		M. RELAÇÃO	σ (mm)
14/dez	5,967	5,967	0,0
	7,652	7,653	0,4
	17,370	17,371	0,3
	18,544	18,545	0,1
	34,975	34,978	0,0

QUADRO 28 - DISTÂNCIAS CORRIGIDAS MÉDIAS – ESTAÇÃO DESNIVELADA

DATA	DISTÂNCIA HORIZONTAL - MÉDIA (m)	DISTÂNCIA CORRIGIDA (m)	
		M. DE RELAÇÃO	σ (mm)
14/dez	5,945	5,946	0,00
	7,631	7,631	0,01
	17,371	17,371	0,03
	18,540	18,540	0,01
	34,969	34,970	0,04

Nos Quadros 29 e 30, são apresentados os ângulos horizontais e verticais médios de cada ponto. A partir desses, foram calculadas as coordenadas dos mesmos no referencial da estação.

QUADRO 29 - ÂNGULOS HORIZONTAIS E VERTICAIS
- ESTAÇÃO NIVELADA

Ponto Visado	Ângulo Horizontal (Média)	Ângulo Vertical (Média)
1	0° 00' 00,0''	54° 37' 48,0''
2	120° 16' 04,5''	64° 49' 35,2''
3	162° 47' 43,4''	90° 24' 52,5''
4	258° 35' 49,0''	92° 15' 18,9''
5	332° 26' 52,9''	88° 29' 20,0''

QUADRO 30 - ÂNGULOS HORIZONTAIS E VERTICAIS
- ESTAÇÃO DESNIVELADA

Ponto Visado	Ângulo Horizontal (Média)	Ângulo Vertical (Média)
1	0° 00' 00,0''	54° 54' 48,5''
2	120° 54' 33,4''	65° 08' 19,5''
3	163° 11' 19,8''	90° 18' 08,8''
4	258° 59' 33,6''	91° 41' 14,9''
5	332° 49' 24,0''	88° 49' 48,4''

Foram formados dois conjuntos de coordenadas para cada ponto, conforme são apresentados nos Quadros 31 e 32.

QUADRO 31 - COORDENADAS NO REFERENCIAL DA ESTAÇÃO (NIVELADA)

Ponto Visado	COORDENADAS (m)		
	X	Y	Z
1	0,000	4,883	3,430
2	5,997	-3,500	3,217
4	-18,171	-3,665	-0,546
5	-16,176	31,005	0,714

QUADRO 32 - COORDENADAS NO REFERENCIAL DA ESTAÇÃO (DESNIVELADA)

Ponto Visado	COORDENADAS (m)		
	X	Y	Z
1	0,000	4,849	3,442
2	5,925	-3,547	3,246
4	-18,185	-3,537	-0,729
5	-15,966	31,099	0,922

Os parâmetros de transformação entre os dois conjuntos de observações, foram encontrados pela aplicação do Modelo Paramétrico (ver 2.6.2) e são mostrados no Quadro 33.

QUADRO 33 - PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO

	PARÂMETROS	DESVIO PADRÃO (mm)
$x_0^{(1)}$	0,0018	0,1
$y_0^{(2)}$	-0,0001	0,1
$z_0^{(3)}$	0,0019	0,1
$\epsilon x^{(4)}$	0° 36' 19,6"	0,8
$\epsilon y^{(5)}$	0° 27' 13,6"	0,1
$\epsilon z^{(6)}$	- 0° 23' 01,4"	0,6
$\delta^{(7)}$	1,0000	0,6

(1), (2) e (3) Parâmetros de Translação em m;

(4), (5) e (6) Parâmetros de Rotação;

(7) Fator de Escala

As coordenadas do ponto P3 (observações com a estação nivelada), determinadas diretamente pelas equações (9), (10) e (11), foram comparadas com as calculadas pela aplicação dos parâmetros de transformação nas coordenadas obtidas com a estação desnivelada. As discrepâncias encontradas são da ordem de milímetros, encontram-se, portanto, dentro da precisão nominal do instrumento.

QUADRO 34 - COMPARAÇÃO DE COORDENADAS

PONTO	COORDENADAS (m)		DIFERENÇA (m)
	*	**	
3			
X	5,138	5,138	0,000
Y	-16,593	-16,595	0,002
Z	-0,092	-0,092	0,000

(1) coordenadas obtidas pelas equações (9), (10) e (11)

(2) coordenadas calculadas pela aplicação dos parâmetros nas coordenadas da estação desnivelada

O teste χ^2 da forma quadrática dos resíduos foi utilizado para verificar a qualidade do ajustamento nesse experimento, levando em conta a variância da unidade de peso definida *a priori* como sendo igual a unidade e a variância estimada *a posteriori* igual a:

$$\chi_{\text{calculado}}^{*2} = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} v = \frac{\mathbf{V}^T \mathbf{P} \mathbf{V}}{\sigma_0^2} = 0,002$$

A hipótese básica testada é:

$$H_0 : \sigma_0^2 = \hat{\sigma}_0^2$$

e, a hipótese alternativa:

$$H_1 : \sigma_0^2 \neq \hat{\sigma}_0^2$$

comparando o valor calculado, com os valores teóricos, tem-se:

$$\chi_{\text{teórico}}^2 \quad \text{com } \alpha = 5\%; \quad 1-0,5 \alpha = 0,975,$$

$$\chi_{5, 0,975}^2 = 16,75$$

Portanto, H_0 não é rejeitada ao nível de significância de 5%.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A avaliação da eficiência do Método de Relação da Linha de Referência, apresentado pelo *US Army Corps of Engineers*, para correções de distâncias, foi efetivada a partir de um conjunto de experimentos realizados sobre medidas obtidas em distintas condições meteorológicas. De modo a permitir maior rigor no que concerne aos resultados e conclusões desta avaliação, tais experimentos foram realizados em diferentes épocas e com instrumental variado.

Ao se comparar os resultados obtidos por este método com os obtidos com as fórmulas adotadas pela IUGG e as fórmulas que acompanham o manual da estação para correções atmosféricas, verificou-se que as diferenças encontradas variaram de centésimos de milímetros a 2,2mm (no levantamento com a Estação Total Elta S20) e, a 1,1 mm no caso do levantamento realizado com a Estação Total TC 403L. Apesar de terem sido encontradas diferenças na ordem de milímetros, as mesmas estão dentro da precisão nominal do equipamento.

Para fins de levantamentos topográficos os resultados foram considerados satisfatórios. Assim sendo, o método estudado pode ser utilizado em problemas de Topografia, bem como aplicado no controle de redes geodésicas. Além disso, os experimentos confirmaram que com a aplicação deste método, é possível desenvolver trabalhos em condições climáticas adversas.

Outra consideração a ser feita é que o Método de Relação da Linha de Referência permite que as distâncias sejam corrigidas dos fatores atmosféricos, bastando para tanto que estas informações sejam coletadas uma única vez, durante o início dos trabalhos, otimizando assim a coleta dos dados.

Em se tratando dos experimentos de monitoramento da posição da Estação Total através do uso de pontos de controle, o objetivo foi alcançado, conforme pode ser visto nos resultados obtidos tanto em testes realizados em laboratório quanto nos realizados em campo. Com isso, conclui ser possível, o cálculo de valores de deslocamento (translação e rotação) em relação a uma posição inicial do instrumento

Em tais experimentos trabalhou-se com dois conjuntos de coordenadas para cada ponto e, considerando que esses conjuntos de coordenadas estão em referenciais diferentes (estação nivelada e desnivelada), os parâmetros de transformação foram obtidos aplicando-se a Transformação de Helmert.

Como forma de verificar a qualidade dos parâmetros encontrados a partir desta transformação, um ponto foi deixado de fora do ajustamento. Os parâmetros foram então aplicados nas coordenadas deste ponto, obtidas com a estação desnivelada, e através desse procedimento as coordenadas foram transformadas para o referencial da estação nivelada.

Por fim, fez-se a comparação das coordenadas obtidas com a estação nivelada com as coordenadas calculadas para a mesma estação. As discrepâncias encontradas foram da ordem de milímetros, portanto dentro da precisão nominal do instrumento.

Além disso, testes estatísticos também foram utilizados para avaliar a qualidade do ajustamento. Para tanto, aplicou-se o teste Qui-Quadrado para comparação entre σ_0^2 e $\hat{\sigma}_0^2$, ressaltando-se que em todos os experimentos a hipótese H_0 foi aceita ao nível de significância de 5%, no caso de teste unilateral.

Para que esta metodologia seja aplicada, é necessário que durante a observações dos pontos de controle a estação não sofra alterações no seu posicionamento.

O método proposto a partir da união do Método de Relação da Linha de Referência com a utilização de pontos de controle para verificar a estabilidade da posição da Estação Total mostrou-se viável, conforme os experimentos aqui estudados e apresentados.

Como recomendações, têm-se:

- a) Realizar outros experimentos utilizando as duas metodologias conjuntas, aumentando o número de pontos de verificação, bem como trabalhando também com deslocamentos de posição horizontal do instrumento, além da inclinação dos eixos do instrumento.
- b) Propor instrumental auxiliar (como tripés, entre outros) para a utilização do controle da estabilidade da posição da Estação Total;

- c) Aplicar outros testes estatísticos nos resultados;
- d) Aplicar o Método de Relação da Linha de Referência não só para a correção das distâncias, mas também para o cálculo de ângulos e coordenadas.

6 REFERÊNCIAS

ACIDENTE em obra do metrô abre cratera em São Paulo. **Aquidauana News**. Disponível em: <http://www.aquidauananews.com/index.php?action=news_view&news_id=99951>. Acesso em: janeiro, 2007.

ANGUS-LEPPAN, P. V. Network adjustment by the ratio method and its meteorological basis. **Australian Journal of Geodesy, Photogrammetry and Survey**, n. 31. December, 1979.

_____. Adjustment of trilateration using length ratios. **Survey Review**, v. 21, n. 166. October, 1972.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.133 – Execução de Levantamentos Topográficos**. Rio de Janeiro, 1994.

BARRAGEM rompe e causa inundações em Minas; mancha ameaça Rio. **Folha Online**. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/especial/2007/rompimentodebarragem/galeria.html>>. Acesso em: janeiro, 2007.

CENACID – CENTRO DE APOIO CIENTÍFICO EM DESASTRES. **Deslizamento e queda de ponte sobre a represa Capivari-Cachoeira, Campina Grande do Sul, 01/05**. Disponível em: <www.geologia.ufpr.br/cenacid/capivari1000/index.html>. Acesso em: março, 2005.

CERYOVÁ, et al. Dynamic testes of robot stations. In: FIG INTERNATIONAL CONGRESS, 22., 2002, Washington. **Proceedings...** Washington: FIG, 2002.

CHEN, Y. Q.; CHRZANOWSKI, A.; SECORD, J. M. A strategy for the analysis of the stability of reference points in deformation surveys. **Cism Journal ACSGC**, v. 44, n. 2. September, 1990.

COSSER, E. et al. Measuring the dynamic monitoring of bridges using a total station. In: FIG SYMPOSIUM ON DEFORMATION MEASUREMENTS, 11., 2003, Santorini. **Proceedings...** Santorini: FIG, 2003, não paginado.

CROSS, P. A.; NORRIS, J. C. The adjustment of length ratios. **Survey Review**, v. 23, n. 181. July, 1976.

DEUMLICH, F. **Survey instruments**. Berlin: Walter de Gruyter, 1982.

DIÓPTRA, S. L. **Instrumentación para la Topografía y su cálculo**. Lugo: Lucenses, 2000.

DUPRAZ, H. **Theorie des erreurs 2 – Statistique et calculs de compensation appliqués à la Géodésie et à la mensuration**. Lausanne: Institut des Mensurations, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, 1985.

EROL, S.; EROL, B.; AYAN, T. **A general review of the deformation monitoring techniques and a case study: analysing deformations using GPS/Levelling**. [S.l.: s.n]. 2004.

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

FERREIRA, A. et al. **Novo Aurélio – Dicionário de Língua Portuguesa séc. 21**. Editora Nova Fronteira, 1999.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações**. Curitiba: Editora UFPR, 1994.

JORDAN, W. **Tratado general de Topografía**. Mexico: Gillis, 1981.

KAHMEN, H.; FAIG, W. **Surveying**. Berlin: Walter de Gruyter, 1988.

KAVOURAS, M. On detection of outliers and the determination of reliability in geodetic networks. **Technical report**, n. 87. New Brunswick: Departament Surveying Engineering, University of New Brunswick, 1982.

KOPÁCIK, A.; KYRINOVIC, P.; KADLECIKOVÁ, V. Laboratory tests of robot stations. In: FIG WORKING WEEK 2005 AND GSDI-8, 2005, Cairo. **Proceedings...** Cairo: FIG, 2005.

KRICKEL, B. Leistungskriterien zur qualitätskontrolle von robottachymetern. **Mitteilungen aus den Geodätischen Instituten der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn**, n. 92. Bonn, 2004.

LEICA GEOSYSTEMS. **Leica TPS 1200**. Disponível em: <http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/products/total_stations/lgs_4547.htm>. Acesso em: janeiro, 2007.

_____. **Bridge surveys**. Disponível em: <<http://www.leica-geosystems.com/civil/application/bridge.htm>>. Acesso em: outubro, 2005.

MEDINA, A S. **Classificação de teodolitos e estações totais na UFPR**. Curitiba, 1998. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas), Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

MIKHAIL, E. M.; ACKERMANN, F. **Observations and Least Squares**. New York: [s.n], 1976.

NADAL, C. A. et al. Monitoramento de deslocamentos dos destroços oriundos do acidente com o navio BTG Vicuña na baía de Paranaguá. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS – CBCG, 4., Curitiba, 2005. **Anais...** Curitiba: CBCG, 2005. 1 CD-ROM.

NADAL, C. A. **Método de interseção óptica tridimensional aplicado à engenharia de precisão**. Curitiba, 2000. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

NARUMI, T. Compensador das Estações Totais. **Revista INFOGEO**. Novembro/Dezembro, 2000.

PAIVA, J. V. R.; STENMARK, J. 2 – Axis Compensators. **Professional Surveyor Magazine**. September, 2002. Disponível em: <www.profsurv.com>. Acesso em: agosto, 2005.

RADOVANOVIC, R. S.; TESKEY, W. F. Dynamic Monitoring of Deforming Structures: GPS Versus Robotic Tacheometry Systems. In: FIG INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DEFORMATION MEASUREMENTS, 10., 2001, Orange. **Proceedings...** Orange: FIG, 2001.

ROBERTSON, K. D. The use of atmospheric models with trilateration. **Survey Review**, v. 24, n. 186. October, 1977.

_____, K. D. The use of line pairs in trilateration and traverse. **Survey Review**, v. 21, n. 165. July, 1972.

RÜEGER, J. M. **Electronic Distance Measurement: an introduction**. 3th Edition. Berlin: Springer-Verlag, 1996.

SEIXAS, A.; BURITY, E. F. Geodésia aplicada à medição e ao monitoramento de áreas de risco em sítios industrializados. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS – CBCG, 4., Curitiba, 2005. **Anais...** Curitiba: CBCG, 2005. 1 CD-ROM.

SILVA, M. M. S. da. **Classificação das componentes angulares (horizontal e vertical) de teodolitos e estações totais em laboratório**. Plano de Tese apresentado em Seminário de Qualificação do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Structural deformation surveying.** Engineer Manual. [S.l], 2002.

VAN CRANENBROECK, J.; BROWN, N. Networking motorized total stations and GPS receivers for deformation measurements. In: FIG WORKING WEEK 2004, Athens. **Proceedings...** Athens: FIG, 2004.

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

VEIGA, L. A. K. et al. **Mapa: Universidade Federal do Paraná - Campus Cidade Universitária.** Curitiba, 2001. Escala 1:2000.

WOLF, P. R.; GHILANI, C. D. **Elementary surveying:** an introduction to Geomatics. New Jersey: Prentice-Hall, 2002.

ZEISS ELTA S. **User Guide.** [S.l], 2001.