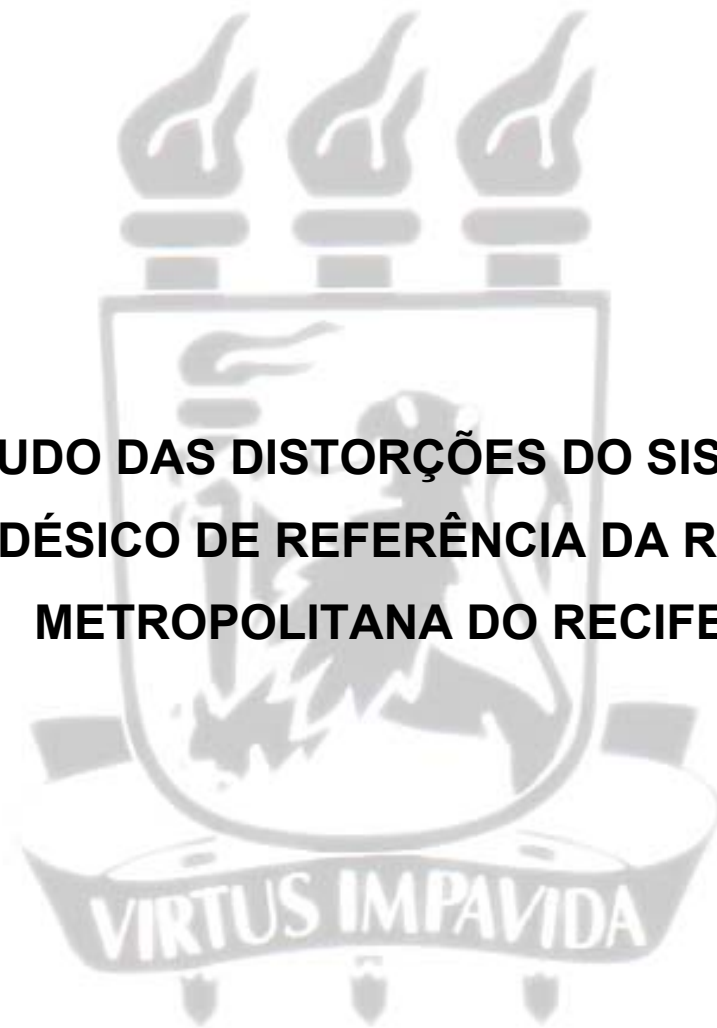


UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

PAULO ROBERTO CARNEIRO DE CARVALHO

**ESTUDO DAS DISTORÇÕES DO SISTEMA
GEODÉSICO DE REFERÊNCIA DA REGIÃO
METROPOLITANA DO RECIFE**



Recife, 2003

PAULO ROBERTO CARNEIRO DE CARVALHO

**ESTUDO DAS DISTORÇÕES DO SISTEMA GEO-
DÉSICO DE REFERÊNCIA DA REGIÃO METRO-
POLITANA DO RECIFE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, área de concentração Geodésia Aplicada, e defendida no dia 12/12/2003.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Verônica Maria Costa Romão

Recife, 2003

C331e

Carvalho, Paulo Roberto Carneiro de

Estudo das distorções do sistema geodésico de referência da Região Metropolitana do Recife/ Paulo Roberto Carneiro de Carvalho. – Recife: O Autor, 2003.
ix, 92 folhas : il. fig., tab. e quadros.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2003.

Inclui bibliografia e anexos.

1. Sistemas Geodésicos de Referência – Distorções. 2. Sistema Geodésicos de Referência – Recife (PE). 3. Rede Geodésica .
4. Sistema de Posicionamento Global - GPS

I. Título.

526.6 CDD (21.ed.)

UFPE
BCTG/2004-2

**ESTUDO DAS DISTORÇÕES DO SISTEMA GEODÉSICO
DE REFERÊNCIA DA
REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE**

POR

PAULO ROBERTO CARNEIRO DE CARVALHO

Dissertação defendida e aprovada em 12.12.03.

Banca Examinadora:



Prof.^a Dr.^a **Verônica Maria Costa Romão (Orientadora)**
Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco



Prof. Dr. **Tarcísio Ferreira Silva**
Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco



Prof.^a Dr.^a **Andréa de Seixas**
Departamento de Tecnologia Rural - Universidade Federal Rural de Pernambuco



Prof. Dr. **José Jorge de Seixas**
Departamento de Geologia - Universidade Federal de Pernambuco

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos amores
da minha vida
meu pai Plácido (in memoriam)
minha mãe Ivonete
minha esposa Marisa
minha filha Sheila
meu filho Henrique
minhas tias Cila e Julinha (in memoriam)
minha avó Berenice
e meus quatro irmãos.*

AGRADECIMENTOS

Meu agradecimento em primeiro lugar a **DEUS**, que me propiciou saúde, energia, inteligência e todas as condições necessárias à realização deste mestrado.

Quero fazer uma menção especial de agradecimento ao Prof. José Jorge de Seixas, que foi o meu mentor acadêmico nos ensinamentos da graduação em engenharia cartográfica, um dos maiores estimuladores para realização do mestrado e quem me indicou para tal realização. Igualmente quero citar a Dr^a. Amélia Reynaldo, presidenta da FIDEM, que me liberou das atividades na FIDEM e também me indicou para fazer o mestrado. Agradeço igualmente ao Prof Carlos Magno, diretor da Escola Politécnica de Pernambuco, que também me indicou para fazer o mestrado.

É oportuno o agradecimento a Eng^a. Cartógrafa Edilce, que trocou idéias e comentários comigo, antes da apresentação do projeto inicial, visando concorrer a uma vaga no mestrado.

Meu reconhecimento e gratidão a Prof^a. Dr^a. Verônica Romão minha orientadora, que jamais faltou com seu apoio, estímulo, perseverança e muito rigor nas execuções para que o mestrado fosse concluído com êxito.

Agradeço, igualmente, ao meu co-orientador o Prof. Dr. Tarcísio Ferreira, conhecido como o “GURU da Geodésia” “Professor Filósofo”, que foi um dos maiores estimuladores a pesquisar este tema, que ele tanto conhece, acreditando no sucesso da empreitada, trouxe, à cena a discussão do tema Distorções do Sistema Geodésico de Referência da RMR, tão presente em nosso cotidiano recifense.

É oportuno que eu agradeça a Prof^a. Dr^a. Andréa de Seixas da UFRPE membro da banca examinadora, por sua participação com tantas sugestões e críticas valiosas em todas as etapas da elaboração da dissertação.

Agradeço a todos os outros professores do mestrado e do departamento de Engenharia Cartográfica, que tanto me incentivaram e apoiaram na realização desse evento. Um carinho especial a Lucilene, Andréa, Schuler, Ana Lúcia e Daniel.

Aos professores Jaime e Carlos Pessoa, muitíssimo obrigado pela participação nos trabalhos de campo e estímulos à conclusão da dissertação.

Ao professor e amigo Adeildo por suas valiosas colaborações nas interpretações e análises dos dados processados nos trabalhos GPS.

Agradeço, igualmente, aos meus amigos que trabalham comigo na Escola Politécnica, Prof. Ricardo Vasconcelos, Prof^a. M^a. de Fátima, Prof. Francisco Maia, (aposentado) e Prof. Geraldo Vasconcellos (aposentado) que me estimularam e deram aquela força para a realização da dissertação de mestrado.

O meu reconhecimento de gratidão a FIDEM, na pessoa do meu amigo Orlando Valois, que proporcionou meios para eu pesquisar, estudar e trabalhar nessa dissertação; aos amigos, também da FIDEM, que cooperaram muito comigo, Stélio, Bartolomeu, Ângela, Wayner, Luiz Ribeiro e os outros, que ajudaram anonimamente.

É ainda oportuno que eu agradeça a bibliotecária Jasmina, que disponibilizou leis, material cartográfico e material bibliográfico, juntamente com seu poder de incentivo, proporcionou-me meios para viabilizar essa publicação.

Esta dissertação não ter-se-ia tornada realidade sem o apoio incondicional de toda a equipe da 3^a Divisão de Levantamentos do Exército (3^a DL), que participou dos trabalhos de campo com pessoal e equipamentos. Apresento a 3^a DL os meus votos de muitíssima gratidão.

Agradeço ao pessoal do apoio da secretaria do DECart e serviços gerais, onde gostaria de realçar a colaboração de D. Judite, disponibilizando aquele cafezinho gostoso.

Agradeço ao amigo Waldemar da Católica pela revisão nas descrições das referências bibliográficas.

O meu agradecimento ao grupo querido dos amigos do mestrado (todos), visto que participei de aulas e eventos com as três turmas (2001 a 2003).

Dos amigos (alunos) do mestrado destaco um reconhecimento especial a Fernando Botelho, amigo fiel, inseparável, (Batman e Robin), que dedicou horas a fio com sugestões, críticas e correções para a elaboração desta dissertação;

Finalmente, meu muito obrigado aos “co-autores invisíveis”- minha família, que com sua paciência, compreensão e estímulo não permitiram que eu perdesse o equilíbrio emocional diante de tantos fins de semana sacrificados na universidade.

O Autor

SUMÁRIO

RESUMO E PALAVRAS-CHAVE	i
ABSTRACT AND KEYWORDS	ii
LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE QUADROS	v
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. HISTÓRICO DA REDE GEODÉSICA DE REFERÊNCIA (RGR) DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE (RMR)	5
2.1 – Origem da Região Metropolitana do Recife (RMR) e da Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife (FIDEM)	5
2.2 – Localização da Região Metropolitana do Recife	6
2.3 – A Rede Geodésica de Referência (RGR) da Região Metropolitana do Recife (RMR)	8
2.3.1 – Primeiros Projetos de Implantação da RGR	8
2.3.2 – Implantação da RGR no Projeto UNIBASE	12
2.4 – Material Cartográfico Gerado	17
2.4.1 – Utilização da Fotogrametria	17
2.4.2 – Produtos Gerados	19
3. IMPLANTAÇÃO DE UMA REDE GEODÉSICA DE REFERÊNCIA POR GPS	21
3.1 – Introdução	21
3.2 – Conceitos Básicos de GPS	21
3.2.1 – Aplicações do GPS	24
3.2.2 – Os Métodos de Posicionamento GPS	25
3.2.3 – Especificações sobre levantamentos GPS	27

3.2.4 – Redes GPS Estaduais e Municipais	30
3.2.5 – A Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC)	33
3.3 - Transformação de Coordenadas	35
3.4 - Estimativa da Precisão, Acurácia e Tolerância do Produto Cartográfico	38
3.4.1 Estimativa do Erro Planimétrico da Carta	39
3.4.2 Resultados e Discussões	42
3.5 - Implantação de Redes GPS	43
3.5.1 Introdução	43
3.5.2 Área de Trabalho	43
3.5.3 Planejamento da Campanha GPS	45
3.5.4 Levantamentos com GPS	45
3.5.5 Processamento dos Dados	48
3.5.6 Resultado do Processamento	48
3.5.7 Discussões dos Resultados	48
4. DETERMINAÇÃO DAS DISTORÇÕES DO SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA	52
4.1 – Introdução	52
4.2 – Análise das Distorções entre os Sistemas Cartográficos em duas épocas	53
4.2.1 Área de Trabalho e Planejamento	53
4.2.2 Obtenção dos Pontos Homólogos nos dois Sistemas	54
4.2.3 Determinação dos Parâmetros de Transformação	56
4.2.4 Resultados e Discussões	59
4.3 – Análise das Distorções entre os Sistemas Geodésicos de Referência em duas épocas	61
4.3.1 Área de Trabalho e Planejamento	61
4.3.2 Determinação dos Pontos Homólogos	63
4.3.3 Determinação dos Parâmetros de Transformação	63
4.3.4 Resultados e Discussões	66
4.4 – Análise das Distorções entre a RGR – 1997 e a RGR – 2003	68
4.4.1 Área de Trabalho e Planejamento	68
4.4.2 Obtenção dos Pontos Homólogos nos Dois Sistemas	69
4.4.3 Determinação dos Parâmetros de Transformação	69

4.4.4 Resultados e discussões	72
4.4.5 Outras Análises à RGR da RMR	72
4.4.6 Influência do Uso das Coordenadas da RBMC em Levantamentos Aplicados no Sistema Geodésico de Referência da RMR	74
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	77
5.1 Conclusões	77
5.2 Recomendações	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
ANEXOS	
ANEXO 1 – Dados da Estação RECF-RBMC	
ANEXO 2 – Arquivos do GPSurvey	
ANEXO 3 – Arquivos Excel	
ANEXO 4 – Arquivos Adjust	

RESUMO E PALAVRAS-CHAVE

CARVALHO, Paulo Roberto Carneiro de. **Estudo das Distorções do Sistema Geodésico de Referência da Região Metropolitana do Recife**. Recife, 2003. 82 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

Este trabalho surgiu em decorrência da necessidade da determinação de possíveis distorções existentes entre os diversos sistemas geodésicos de referência implantados na Região Metropolitana do Recife (RMR), institucionalizada em 1973. Desta forma, o objetivo principal do mesmo é o de analisar as discrepâncias encontradas e atender aos usuários que desconheçam os problemas existentes nas Redes Geodésicas de Referência (RGR) implantadas no período de 1973 a 1998. A pesquisa buscou, além disso, o resgate do processo histórico e da origem da RGR.

As distorções da Rede Geodésica de Referência da RMR foram estrategicamente estudadas em três etapas. A primeira etapa teve por objetivo uma determinação expedita, das discrepâncias entre as coordenadas das cartas, utilizando-se de produtos cartográficos executados nas épocas acima citadas, cujos resultados mostram a existência de discrepâncias e sua ordem de grandeza. Na segunda etapa, fez-se um estudo comparativo do sistema de referência da RMR nos campos de pontos de apoio geodésico utilizados para georreferenciamento das ortofotocartas e das plantas topográficas cadastrais, cujos resultados mostram discrepâncias com valores próximos às distorções encontradas da primeira etapa. Na terceira etapa, foi realizada uma determinação precisa, utilizando os mesmos segmentos da RGR, através de uma comparação entre os resultados de uma rede GPS implantada para esse fim em 2003 e a RGR implantada entre 1984 e 1989 na RMR.

Palavras-chave: Rede Geodésica de Referência; Distorções em Sistemas Geodésicos de Referência; Sistema de Posicionamento Global (GPS).

ABSTRACT AND KEYWORDS

This work came out in the course of the need of determination o possible distortions found in the Geodesic System of Reference of the Metropolitan Region of Recife (MRR), implemented in 1973. So that the main objective of this work is to analyze the existing discrepancies into MRR in order to help the users to understand the discrepancies in the Geodesic Net of References (GNR). The research also studies the history of the GNR.

The distortions of the Geodesic Net of References of the MRR has been studied in three stages. The first stage had as objective an approximated determination of discrepancies among the map coordinates, using the existing cartographic products whose results show the existing discrepancies. In the second stage was made a comparing study of the geodetic network used for georeferencing the orthophotos of the cadastral geographical maps whose results show discrepancies near to the distortions of the first stage. In the third stage was made a precise determination using the same segments of the GNR through a comparison among the results of a GPS network implanted for this end, and the GNR implanted from 1984 to 1989 in the MRR.

Key-words: Geodetic Reference Net; Distortions in Systems of Geodetic Reference; Global Position System (GPS).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Localização de Pernambuco no Brasil e da RMR no Estado de Pernambuco (Fonte: IBGE 2000)	7
Figura 2:	Vértices de Triangulação de 1ª ordem no Estado de Pernambuco (Fonte: IBGE 1980)	10
Figura 3:	Rede Geodésica de Referência da Região Metropolitana do Recife, implantada em 1984 pelo PROJETO UNIBASE	15
Figura 4:	Rede de referência GPS no Estado de Pernambuco (Fonte: ROMÃO 1995)	30
Figura 5:	Rede de referência GPS no Estado de Pernambuco com as elipses de erros (Fonte: ROMÃO 1995)	32
Figura 6:	Rede de referência GPS no Estado de Pernambuco com o vetorgrama das distorções (Fonte: ROMÃO 1995)	32
Figura 7:	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC) (Fonte: PEREIRA 2003)	34
Figura 8:	Transformação de similaridade ou isogonal ou conforme de Helmert (Fonte: KAHMEN et FAIG 1988)	37
Figura 9:	Distribuição da Rede GPS na RMR e a indicação dos blocos de aerotriangulação existentes	44
Figura 10:	Configuração da Rede GPS implantada na RMR	47
Figura 11:	Localização dos Pontos das Cartas e Ortofotocartas	55
Figura 12:	Vetorgrama das discrepâncias nas coordenadas dos pontos homólogos das plantas topográficas e ortofotocartas	60
Figura 13:	Vetorgrama das discrepâncias nas coordenadas dos pontos do apoio das épocas 1973 e 1984	65
Figura 14:	Configuração da Rede GPS, executada pela missão alemã em conjunto com o DECart da UFPE, sobreposta a RGR da RMR (Fonte: ROMÃO 1995)	67
Figura 15	Vetorgrama das discrepâncias da Rede GPS implantada em 1997 e 2003	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quantidade de pontos de apoio horizontal e vertical (HV) por município que foram utilizados na confecção das ortofotocartas (Fonte: AEROFOTO 1973)	12
Tabela 2: Estratificação das linhas de base em função das exatitudes	49
Tabela 3: Estratificação das linhas de base em função das distâncias	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1:	Vértices implantados pela DSG na RMR, na década de 1940	8
Quadro 2:	Vértices de 1ª Ordem da RGR comuns às redes implantadas nas diversas décadas	11
Quadro 3:	Quantitativo dos pontos de apoio da RGR por blocos da aerotriangulação da 2ª etapa do projeto UNIBASE	16
Quadro 4:	Quantitativo de pontos da RGR, por bloco de aerotriangulação, realizados na 3ª etapa do projeto UNIBASE	17
Quadro 5:	Resumo do desenvolvimento da RGR por período com a indicação de qual o evento que foi responsável por sua realização	19
Quadro 6:	Material cartográfico discriminado por ano de realização, escala, elipsóide de referência e o órgão responsável pela sua elaboração	20
Quadro 7:	Precisão e Características no Posicionamento Relativo (Fonte: ROMÃO 2002)	26
Quadro 8:	Classificação dos Levantamentos GPS (Fonte IBGE 1992)	29
Quadro 9:	Normas de exatidão no posicionamento relativo (Fonte. STREIFF 1999)	30
Quadro 10:	Estações RBMC e data de implantação (Fonte: PEREIRA et al 2003)	34
Quadro 11:	Fórmula da transformação conforme bi-dimensional (Fonte: LUGNANI 1987)	36
Quadro 12:	Modelo matemático de transformação de Helmert (KAHMEN e FAIG 1988)	37
Quadro 13:	Classificação do padrão de exatidão cartográfica (PEC) (Fonte: decreto 89.817:1984)	38
Quadro 14:	Valores empíricos para erros cometidos na elaboração de documentos cartográficos em função das escalas das suas execuções (ANDRADE 1981)	41
Quadro 15:	Linhas de base rastreadas	46
Quadro 16:	Pontos homólogos das cartas e ortofotocartas no sistema SAD-69 e o resultado da transformação de similaridade de Helmert	57

Quadro 17: Parâmetros de transformação entre os Campo de Pontos Geodésicos	63
Quadro 18: Pontos homólogos das redes GPS e o resultado da transformação de similaridade	69
Quadro 19: Discrepância na Estação UFPE	73
Quadro 20: Discrepâncias do Bloco CEASA	74
Quadro 21: Discrepâncias interna da Rede GPS 1997 (rastreo de 2003 processado com dados de 1997)	75

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A-S	<i>Anti-Spoofing</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACCII	<i>American Standard Code for Information</i>
ARNSS	<i>Aeronautical Radio Navigation Services</i> – Serviços Aeronáuticos de Rádio Navegação
C/A	<i>Coarse / Acquisition</i>
CIO	<i>Conventional International Origin</i>
CONDEPE	Instituto de Desenvolvimento de Pernambuco
DECart	Departamento de Engenharia Cartográfica
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DOP	<i>Dilution of Precision</i>
FIDEM	Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife
GPS	Sistema de Posicionamento Global
GRS80	<i>Geodetic Reference System 1980</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
L1	Onda Portadora com Freqüência 1.575,42 MHz
L2	Onda Portadora com Freqüência 1.227,60 MHz
NMM	Nível Médio dos Mares
OTF	<i>Resolution On The Fly</i> – Resolução no mesmo instante
PRN	<i>Pseudo – Random Noise</i>
PTC	Planta Topográfica Cadastral – Carta Fotogramétrica da RMR – planimétrica escala 1: 1000
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RGR	Rede Geodésica de Referência
RIBaC	Rede INCRA de Bases Comunitárias do GPS
RMR	Região Metropolitana do Recife
RPR	Rede Planimétrica de Referência
S/A	<i>Selective Availability</i> – Disponibilidade Seletiva
SAD69	<i>South American Datum of 1969</i>
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UNIBASE	Unificação das Bases Cadastrais (Plantas Topográficas Cadastrais PTC) executadas por fotogrametria

UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>
WGS84	<i>World Geodetic System of 1984</i>

1. INTRODUÇÃO

O usuário das geotecnologias tem identificado distorções em medições no sistema cartográfico da Região Metropolitana do Recife (RMR), com valores na maioria das vezes superiores às tolerâncias admitidas, trazendo com isto dúvidas sobre a precisão deste sistema cartográfico.

A concepção do presente trabalho surge assim em decorrência da necessidade da determinação de possíveis distorções existentes no sistema geodésico de referência da RMR, implantada em 1973, com o objetivo de analisar as distorções mencionadas pelos usuários e beneficiar, desta forma, os usuários, que desconheçam problemas existentes nas Redes Geodésicas de Referência (RGR) implantadas nos anos de 1973, 1975, 1984, 1989, 1997 e 1998, propiciando os meios para que este usuário possa eventualmente corrigir essas distorções.

O conhecimento e resgate do processo histórico e da origem da RGR reforçam e também justificam a realização deste trabalho.

O objetivo geral desta pesquisa é, portanto, analisar a Rede Geodésica de Referência (RGR) da Região Metropolitana do Recife (RMR), observando, entre outros, os seus fatores históricos e distorções ocorridas ao longo de sua implantação.

Os objetivos específicos deste trabalho são: descrever as etapas para a implantação e ajustamento de uma RGR utilizando a tecnologia GPS; verificar a variação das coordenadas da RGR, nas cartas topográficas PTC, decorrentes da utilização de novas técnicas, avanços das ciências geodésicas e das tecnologias da geoinformação nas determinações de coordenadas; calcular parâmetros de transformação entre os sistemas cartográficos referentes às duas épocas distintas, assim como entre os sistemas geodésicos implantados para as confecções das citadas ortofotocartas e cartas topográficas; e analisar a precisão do sistema de referência geodésico da RMR, com a implantação da nova rede GPS.

As distorções da Rede Geodésica de Referência da RMR foram estrategicamente estudadas em três etapas. A primeira etapa teve por objetivo uma determinação expedita, utilizando-se de produtos cartográficos executados nas épocas de 1973 e 1998, cujos resultados mostram discrepâncias da ordem de 5,5 metros. Na segunda etapa, fez-se um estudo comparativo do sistema de referência da RGR nos campos de pontos de apoio geodésico utilizados para georreferenciamento das orto-

fotocartas e as das plantas topográficas cadastrais, cujos resultados mostram discrepâncias próximas às distorções da primeira etapa. A terceira etapa objetiva uma determinação precisa, utilizando-se segmentos da RGR envolvidos, analisados através de uma comparação entre os resultados de uma rede GPS, implantada em 2003 para esse fim, e a RGR implantada entre 1984 e 1989 na RMR.

As distorções existentes, entre os sistemas cartográficos das diferentes épocas do apoio de campo fotogramétrico, foram determinadas através de uma transformação de similaridade no espaço bi-dimensional (KAHMEN et FAIG 1988), aplicada aos pontos homólogos fotoidentificáveis nos dois sistemas.

Os resultados obtidos e apresentados no capítulo 4 mostram que os campos de pontos das duas épocas estudadas são distintos, explicando numericamente a razão das distorções identificadas pelos usuários.

A etapa preliminar, realizada através de um processo expedito, utilizando documentos cartográficos permitiu resultados na comparação de coordenadas, que mostram discrepâncias comprovadas nas demais etapas; embora estes documentos sejam produtos de técnicas distintas, o que torna esta comparação não homogênea, sendo a mesma utilizada apenas como análise preliminar.

Na segunda etapa das análises, foram realizados estudos comparativos entre a RGR implantada em 1973, para o apoio geodésico à realização das ortofotocartas na escala 1/2.000 e a RGR implantada em 1984, para o apoio geodésico à realização do projeto UNIBASE (Plantas Topográficas Cadastrais) na escala 1:1.000. Convém acrescentar que ambas as implantações foram realizadas com o método de poligonização geodésica, utilizando equipamentos convencionais (distanciômetro, telerômetro, teodolitos ópticos-mecânicos). Da mesma forma como no procedimento anterior, aqui foi utilizado o modelo matemático de transformação de similaridade para a determinação dos parâmetros de transformação, entre os dois sistemas geodésicos. Os resultados obtidos nesta 2ª etapa mostram discrepâncias de 5,6 metros, confirmando o estudo realizado na 1ª etapa.

A análise mais precisa da RGR, implantada em 1998, foi executada fazendo-se comparações entre as coordenadas dessa rede e as coordenadas da nova rede, implantada em abril de 2003, exclusivamente para essas finalidades do presente trabalho.

As duas redes de 1998 e 2003 foram implantadas com a tecnologia GPS, embora na primeira tenha sido utilizado o método de irradiação, a partir de vértices da rede geodésica de 1984; enquanto que a nova rede foi levantada com o método de multi-estação e multi-sessão, com o uso simultâneo de 6 receptores GPS. Para as análises e comparações entre os dois tipos de redes, foi empregada também uma transformação de similaridade entre os dois sistemas de coordenadas.

As distorções detectadas encontram explicação, considerando o que afirma MELLO (1996) *“A evolução do instrumental aplicado aos processos geodésicos e cartográficos marca o reordenamento por que passam – no mundo e em todos os segmentos da atuação social, do acadêmico ao empresarial – as organizações especializadas nos campos da Geodésia e Cartografia”*

Reconhecidamente, ao se considerar não somente a evolução instrumental, mas também aquela inerente à modelagem e métodos de processamento e análise, além de outras, constata-se uma inequívoca alteração no panorama da Geodésia, da Cartografia e de áreas afins.

Os resultados apresentados no capítulo 4 mostram, também, distorções relevantes.

O presente trabalho se estrutura em cinco capítulos.

O primeiro, apresenta uma introdução, onde são feitas as considerações iniciais, justificativas, objetivos, a metodologia adotada e a estruturação do trabalho.

No segundo capítulo, descreve-se o histórico da rede geodésica de referência da RMR, sendo apresentados os pontos ou vértices do Sistema Geodésico de Referência e o material cartográfico gerado por fotogrametria.

No terceiro capítulo são tratados os assuntos referentes à implantação de redes geodésicas de referência, utilizando a tecnologia do sistema de posicionamento global de rastreamento por satélites do tipo Global Positioning System (GPS), abordando as redes de referência de âmbito nacional, estadual e municipal, especificações sobre levantamentos GPS e explanação sobre as etapas e cuidados para implantação de uma nova rede geodésica de referência por GPS, em nível local. Apresentam-se ainda os conceitos de transformação de coordenadas, a estimativa de precisão, acurácia e tolerância do produto cartográfico.

No quarto capítulo são enfocados os resultados relativos aos estudos das distorções do campo de pontos homólogos, das 3 etapas;

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões e as recomendações para trabalhos futuros. E, finalmente, apresentam-se as referências bibliográficas e os anexos.

2. HISTÓRICO DA REDE GEODÉSICA DE REFERÊNCIA (RGR) DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE (RMR)

2.1 Origem da Região Metropolitana do Recife (RMR) e da Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife (FIDEM)

A Região Metropolitana do Recife (RMR) foi institucionalizada, juntamente com as demais regiões metropolitanas brasileiras, pela Lei Complementar nº. 14, de 8 de junho de 1973 (FIDEM 1976). Com a institucionalização, que demarca uma nova etapa na vida administrativa nacional, o Poder Público buscou acentuar o controle da evolução dos sistemas metropolitanos, onde o propósito final foi assegurar ao desenvolvimento nacional apropriadas condições de dinamismo, ora prejudicadas por inadequados processos de urbanização.

A caracterização do desenvolvimento econômico e social do País, como um processo sempre mais dependente do desempenho das atividades urbanas, tornou inadiável a definição de uma política nacional urbana, que encontra, nos limites dos espaços metropolitanos, os elementos prioritários de sua formulação.

A necessidade de aumentar a eficiência do desempenho das funções exercidas pelas regiões metropolitanas, no que se refere à correção de distorções da estrutura econômica e social e à irradiação do desenvolvimento nas áreas sob sua influência, levou ao estabelecimento de um marco institucional que conferisse ao Setor Público melhores condições para efetivar a promoção do desenvolvimento metropolitano.

Em face desses pressupostos, a institucionalização da Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife (FIDEM) – pela Lei Estadual nº 6708, de 3 de julho de 1975 – como órgão de apoio técnico e administrativo aos Conselhos Deliberativos e Consultivos, anteriormente criados em obediência à supra referida Lei Complementar, representou a expressão local dessa consciência nacional. O decreto que regulou as atribuições da FIDEM foi o Nº 21.345 de 30 de maio de 1999. A esta entidade coube, entre outras atribuições, a execução do planejamento integrado do desenvolvimento metropolitano, a programação e a coordenação das intervenções, a articulação dos organismos governamentais, a modernização da administração dos municípios que compõem a RMR e a execução de obras e serviços de interesse da RMR (FIDEM 1976, 2002).

Dentre as obras e serviços de interesse da RMR destaca-se: promover os serviços técnicos especializados relativos à unificação das bases cadastrais e cartográficas, bem como a manutenção dos sistemas de dados sócio-econômicos, geoambientais e institucionais dos municípios da RMR; aplicar e monitorar o cumprimento da legislação federal e estadual relativa ao parcelamento, uso e ocupação do solo no que couber, dentre muitas outras atribuições não relatadas nessa dissertação (FIDEM 2002).

Hoje o Poder Executivo editou a Lei Complementar nº 49 em 31 de janeiro de 2003, que dispõe sobre as áreas de atuação e estruturas de funcionamento do órgão do Poder Executivo. Posteriormente através do Decreto nº 25.491 de 26 de maio de 2003, aprovou o regulamento da Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco CONDEPE / FIDEM, que teve suas atividades e competências discriminadas no Manual de Serviços, que foi publicado no diário Oficial do Estado (DOE) em 05 de junho de 2003 (FIDEM 2003).

2.2 Localização da Região Metropolitana do Recife

A Região Metropolitana do Recife abrange os municípios do Recife, Cabo de Santo Agostinho, Moreno, São Lourenço da Mata, Olinda, Paulista, Igarassu, Jaboatão do Guararapes, Ilha de Itamaracá, Itapissuma, Araçoiaba, Abreu e Lima, Camaragibe e Ipojuca. Localiza-se na zona fisiográfica do Litoral - Mata do Estado de Pernambuco, limitando-se, ao norte, com os municípios de Tracunhaém, Paudalho, Chã de Alegria e Vitória de Santo Antão; ao sul, com Escada; a leste limita-se com extensão de oitenta quilômetros com o Oceano Atlântico.

A figura 1 indica a localização de Pernambuco no Brasil e da Região Metropolitana do Recife no estado de Pernambuco.

A localização geográfica de RMR se dá entre os paralelos de latitudes: 7° 41' 09" S e 8° 35' 22" S, e entre os meridianos de longitudes 35° 16' 09" W e 34° 48' 47" W (FIDEM 1976). A área ocupada pela RMR é de 2.743,00 Km², correspondendo, aproximadamente a 2,78% da área do Estado de Pernambuco com uma população, em 2000, de 3.335.704 de habitantes, que representa 42,16% do total da população pernambucana (IBGE 2000).

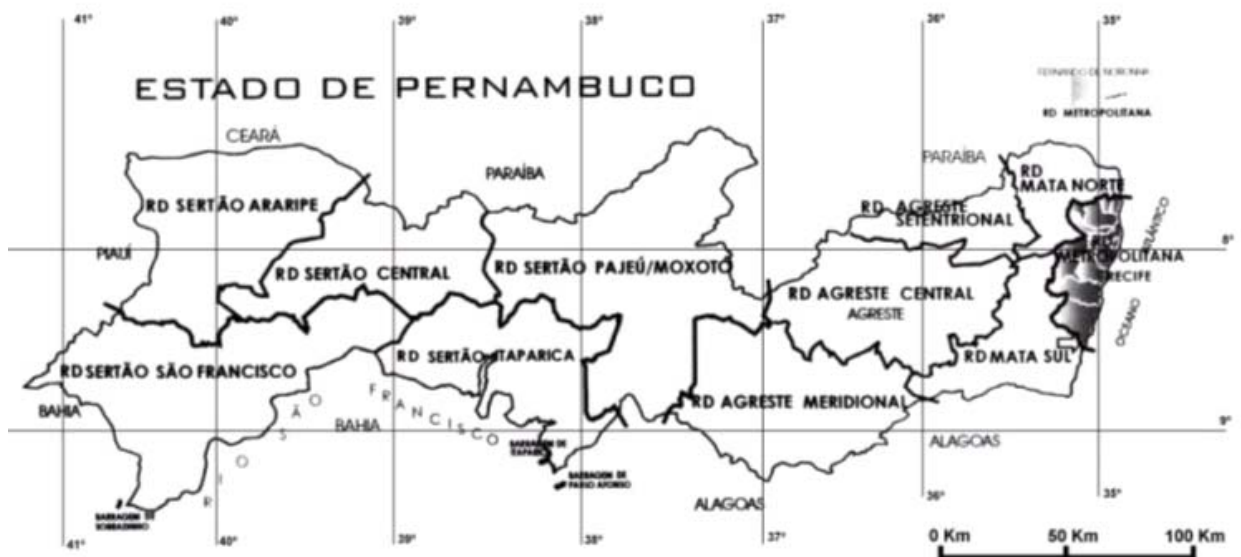


Figura 1: Localização de Pernambuco no Brasil e da RMR no Estado de Pernambuco (Fonte: IBGE 2000).

2.3 A Rede Geodésica de Referência (RGR) da Região Metropolitana do Recife (RMR)

2.3.1 Primeiros Projetos de Implantação da RGR

Na RMR, os trabalhos de implantação de uma Rede Geodésica de Referência se iniciaram com os levantamentos geodésicos executados pelo Destacamento Especial do Serviço Geográfico do Exército na década de 1940.

Foram implantados os vértices relacionados no quadro1, na RMR, que posteriormente foram reocupados e medidos em outras campanhas (DSG 1941).

A seguir, o quadro 1 apresenta os nome dos vértices implantados, com a sua classificação quanto à ordem de precisão, segundo o IBGE, na década de 1940 (DSG1941).

Quadro 1: Vértices implantados pela DSG na RMR, na década de 1940.

Vértices de 1ª Ordem	Vértices de 2ª Ordem
Conivieira	Cel. Carneiro
Lampião	Cajá
Serra do Brito	Monjope
Conceição	Pavão
Serraria	Pedra de Pimenta
Pedra Selada	Aterro
Ponta de Pedras	Pedra do Hilário
Inês Teresa	
Barreira do Monte	
Nova Cruz	
Miritiba	
Pedra Pelada	
Santo Agostinho	

Por outro lado na década de 1950, a Prefeitura do Recife implantou uma Rede Geodésica de Referência, que foi executada com o objetivo de apoio de campo às atividades fotogramétricas, para elaboração das cartas cadastrais planimétricas na escala de 1:1.000, que foram conduzidas pelo antigo Grupo Condor, depois chamada de Varig Cruzeiro do Sul, a qual posteriormente se transformou em Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul .

Na década de 1960, o IBGE executou a Rede de Triangulação Geodésica de primeira ordem no Estado de Pernambuco, com 101 vértices, onde os vértices Conceição, Conivieira Lampião e Serra do Brito da RGR de 1940, também foram utilizados nessas medições (IBGE 1980), como mostra a figura 2.

Na década de 1970 surgiu em 1973 o projeto nº 291, visando atender às necessidades de apoio técnico aos trabalhos geodésicos e cartográficos para a RMR, sob a responsabilidade da FIDEM, executado pela empresa Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul (obra SACS), concebido em três etapas A, B e C, que teve como objetivo prover a RMR de uma carta precisa na escala 1/10.000 do tipo ortofotocartas com curvas de nível com equidistância de 5,0m nas áreas urbanas e rurais; enquanto que nas áreas urbanas e de expansão urbana, foi elaborada uma carta na escala 1/2.000, do tipo ortofotocartas com curvas de nível com equidistância de 2,0m.

Para a implantação dessa RGR, utilizou-se os vértices Conceição, Lampião, Serra do Brito e Conivieira, da Triangulação Geodésica de 1ª ordem, do Estado de Pernambuco, implantados na década de 1960. Os trabalhos foram executados com métodos de poligonação e irradiação, tomando como base a rede de 1ª ordem daquela época.

No quadro 2, são esclarecidas as utilizações e reocupações dos vértices da RGR, implantados em várias épocas, porém são vértices comuns (homólogos) às redes implantadas, que são da vigência da RMR implantada em 1973.

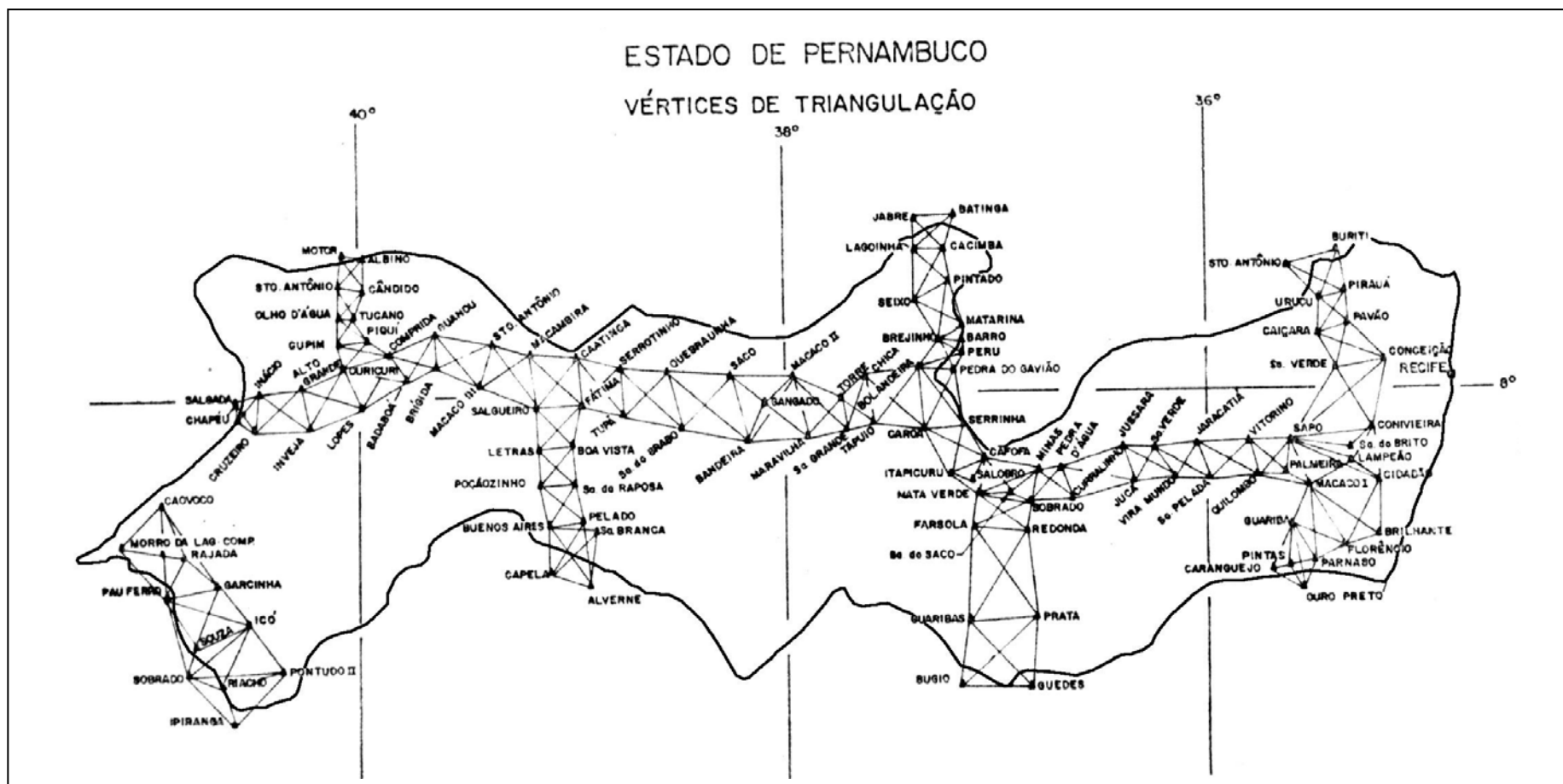


Figura 2: Vértices de Triangulação de 1ª ordem no Estado de Pernambuco (Fonte: IBGE 1980).

Quadro 2 : Vértices de 1ª Ordem da RGR comuns às redes implantadas nas diversas décadas.

Década 1940 DSG	Década 1960 TRIANGULAÇÃO	Década 1970 SACS - 291	Década 1980 UNIBASE
Conivieira	Conivieira	Conivieira	Conivieira
Lampião	Lampião	Lampião	
Serra do Brito	Serra do Brito	Serra do Brito	
Conceição	Conceição	Conceição	Conceição
Pedra Selada		Pedra Selada	Pedra Selada
Pedra Pelada		Pedra Pelada	Pedra Pelada
		V-14	V-14
		V-15	V-15
		V-76	V-76
		V-75	V-75
		V-79	V-79
		M-31	M-31
		M-37	M-37
		M-20	M-20

Esses vértices comuns às implantações de redes ocorridas nas quatro últimas décadas foram utilizados nas análises desenvolvidas no presente trabalho, por participarem do apoio fotogramétrico das ortofotocartas de 1973, bem como do correspondente apoio das plantas topográficas cadastrais executadas por fotogrametria do Projeto UNIBASE. Estes trabalhos realizados para implantação da RGR no projeto UNIBASE encontram-se detalhado no item 2.3.2.

Vale acrescentar que ponto de apoio fotogramétrico é conceituado conforme o Manual técnico de poligonação eletrônica T 34-401, DSG (1976), como sendo “ *aqueles que possam ser perfeitamente identificados no modelo estereoscópico, para garantir uma perfeita identificação estes pontos devem resultar da intersecção de detalhes lineares, bem definidos, a fim de que nenhuma dúvida venha existir para o restituidor quanto à colimação do ponto*”.

A tabela 1 apresenta a quantidade de pontos geodésicos que foram implantados para o apoio fotogramétrico, pontos esses com precisões horizontais e verticais (HV) suficiente para a realização das ortofotocartas na RMR abrangendo uma área de 2.200,00 km². Na tabela 1, encontram-se também discriminados os quantitativos de pontos por município segundo os dados do termo de recebimento dos serviços prestados pela empresa SERVIÇOS AEROFOTOGRAFÉTRICOS CRUZEIRO DO SUL (AEROFOTO 1973).

Tabela 1: Quantidade de pontos de apoio horizontal e vertical (HV) por município que foram utilizados na confecção das ortofotocartas (Fonte: AEROFOTO 1973).

MUNICÍPIO	Nº DE PONTOS
RECIFE	206
OLINDA	42
PAULISTA	52
ABREU E LIMA	05
IGARASSU	29
ITAPISSUMA	05
ITAMARACÁ	09
CAMARAGIBE	27
SÃO LOURENÇO DA MATA	15
JABOATÃO DOS GUARARAPES	54
MORENO	11
CABO DE SANTO AGOSTINHO	25
TOTAL	480

Observação: nesta época na RMR só existiam 12 municípios, pois Araçoiaba ainda não estava emancipado, nem Ipojuca havia sido incorporado à RMR.

2.3.2 Implantação da RGR no Projeto UNIBASE

Na década de 1980, com a evolução dos planos e projetos de intervenção no espaço metropolitano passou-se a requerer uma base cartográfica “única”, mais precisa e mais confiável e que possibilitasse uma carta de qualidade com Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). Em face desta demanda, a FIDEM institucionalizou em 19 de março de 1984, através do convênio de cooperação técnica nº 08/84 o projeto denominado UNIBASE (Unificação das Bases Cadastrais), implantado para atender às necessidades cartográficas da RMR, ou seja, atender aos seguintes convenientes: FIDEM, as concessionárias de serviços públicos de água, luz, telefone, órgãos gerenciadores do trânsito e do transporte (COMPESA, CELPE (hoje IBERDROLA), TELPE (hoje TELEMAR), DETRAN e EMTU, respectivamente) e as 14 prefeituras da RMR.

Para a realização do Projeto UNIBASE, foi implantada uma rede geodésica pelo IBGE, utilizando poligonação com especificações de primeira ordem, ligada à Rede Geodésica de Triangulação de 1ª ordem, através dos vértices Conceição e

Conivieira, bem como foram também reutilizados os vértices da RGR de 1940 e da RGR do Projeto SACS-291, mencionados no quadro 2 e representados na figura 3.

Os Projetos UNIBASE foram concebidos por etapas, assim discriminados: a primeira etapa que funcionou como um projeto piloto, abrangeu uma área de 63,00 km², executou “plantas topográficas cadastrais (PTC)”, planimétricas, na escala 1/1.000, realizada no período de 1984 a 1986, cada planta cobrindo cartograficamente uma área retangular de 500,00m por 1.000,00 m, nos municípios de Recife (com 31 plantas), Jaboatão dos Guararapes (com 82 plantas) e Cabo de Santo Agostinho (com 113 plantas), totalizando 226 plantas. Essas plantas foram elaboradas em meio analógico, com classificação tipo A de acordo com o decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984.

A segunda etapa, que foi um projeto pioneiro de cartografia digital no território brasileiro, abrangeu uma área de 200,00 km², com 436 plantas topográficas cadastrais planimétricas, na escala 1/1.000, realizada no período de 1988 a 1990, com as mesmas dimensões das plantas da primeira etapa, cobrindo nos municípios de Recife (com 261 plantas), Jaboatão dos Guararapes (com 16 plantas) e Cabo de Santo Agostinho (com 38 plantas), Olinda (com 93 plantas), Paulista (com 6 plantas), Itaipissuma (com 8 plantas), e Ilha de Itamaracá (com 24 plantas), totalizando 446 plantas. Essas plantas topográficas cadastrais foram elaboradas em meio analógico e magnético, com 104 níveis de informação e tiveram a sua classificação como tipo A, de acordo com o decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984 (FIDEM 1976,2002).

A RGR empregada nesta fase foi a mesma citada na primeira etapa, acrescida da densificação da Rede Planimétrica de Referência (RPR), abaixo explicada.

A FIDEM, objetivando atender a comunidade cartográfica implantou uma Rede Planimétrica de Referência (RPR), com a finalidade de dar suporte a futuros projetos de engenharia.

Tais pontos foram sinalizados para posterior identificação nas fotografias aéreas, possibilitando assim a determinação de suas coordenadas por processo fotogramétrico.

Dos 215 pontos planejados, devido a problemas como nuvens, sombras de prédios, sinalização destruída, ficaram apenas 102 pontos (PROSPEC 1988).

Na terceira etapa do Projeto UNIBASE, que foi a continuidade do pioneiro projeto de cartografia digital, abrangeu-se uma área de 400,00 km², mais a atualização de 74,00 km² distribuídos entre a primeira e segunda etapas. Foram elaboradas 1.034 “plantas topográficas cadastrais PTC”, planimétricas, na escala 1/1.000, realizada no período de 1997 a 2001, com as mesmas dimensões das plantas das etapas anteriores, cobrindo os territórios dos municípios de: Recife (com 261 plantas), Jaboatão dos Guararapes (com 16 plantas), Cabo de Santo Agostinho (com 38 plantas), Olinda (com 93 plantas), Paulista (com 6 plantas), Itapissuma (com 8 plantas), e Ilha de Itamaracá (com 24 plantas), totalizando 436 plantas. Essas “plantas topográficas cadastrais” foram também produzidas em meio analógico e magnético, sendo que com apenas 32 níveis de informação, com classificação denominada como tipo A, de acordo com o decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984.

Para essa etapa, utilizou-se na RGR, o procedimento igual à etapa anterior, sendo que ela foi densificada pelo método de irradiação simples, utilizando tecnologia GPS.

A figura 3 apresenta a Rede Geodésica de Referência (RGR) da RMR implantada pelo Projeto UNIBASE.

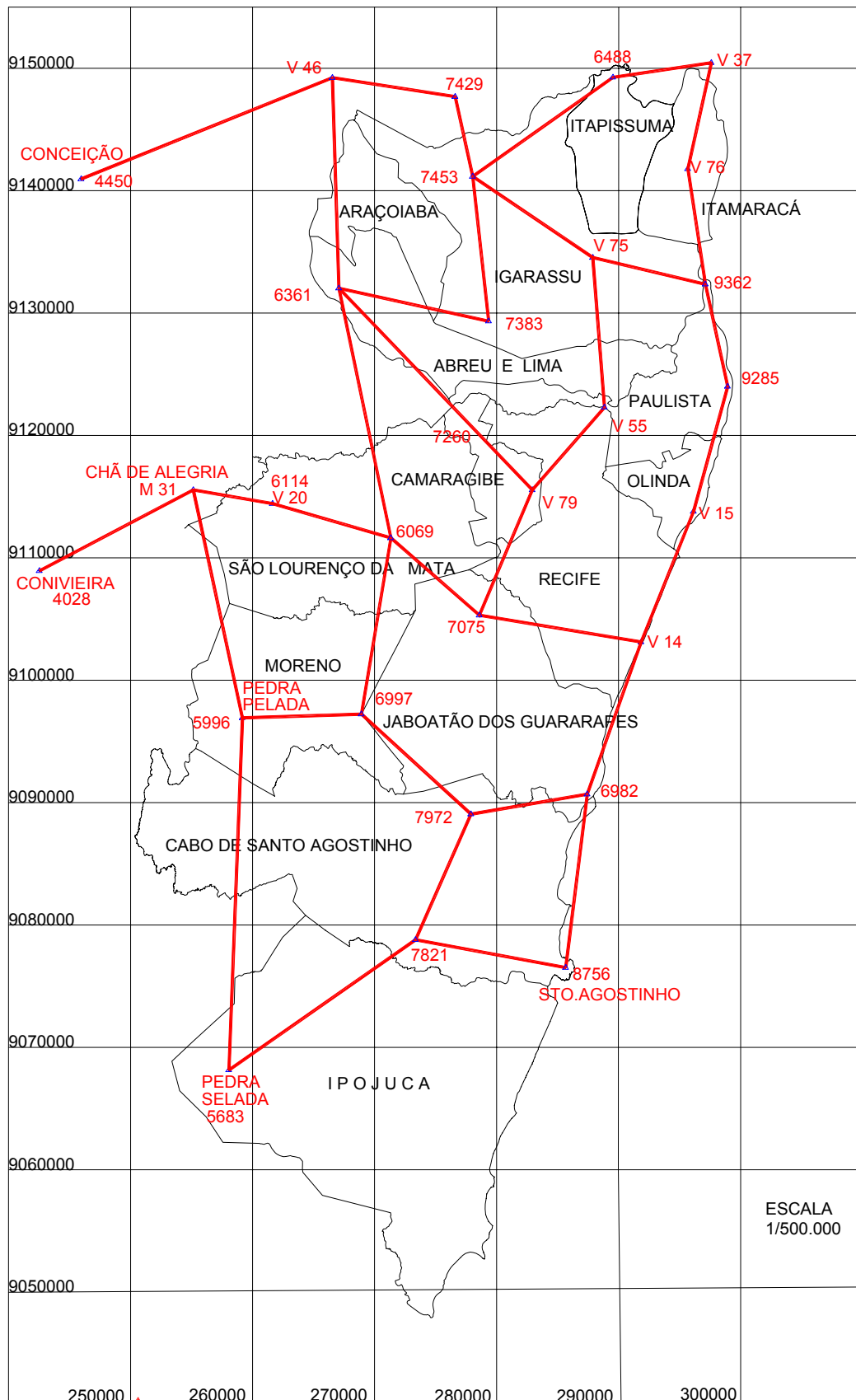


Figura 3: Rede Geodésica de Referência da Região Metropolitana do Recife, implantada em 1984 pelo Projeto UNIBASE.

O quadro 3 mostra o quantitativo de pontos implantados para o apoio de 2ª e 3ª ordens, amarrados à RGR da RMR, quantitativos estes discriminados por bloco de aerotriangulação.

Quadro 3: Quantitativo dos pontos de apoio da RGR por blocos da aerotriangulação da 2ª etapa do Projeto UNIBASE.

Nº	BLOCO	SECUNDÁRIO	SUPLEMENTAR	OBSERVAÇÃO
		Nº PONTOS	Nº PONTOS	
01	Itapissuma	6	8	Secundário é 2ª ordem Suplementar é 3ª ordem
02	Itamaracá	6	12	
03	Ouro Preto	45		
04	Olinda	12		
05	Jóquei Clube	23	31	
06	Aeroporto	8	14	
07	Prazeres	8		
08	Cabo	22	11	
-	TOTAL	130	76	

Na 3ª etapa do projeto UNIBASE - conforme se observa no quadro 4, organizado por município e com indicação do quantitativo de pontos implantados por irradiações, rastreou-se com receptores GPS de uma frequência, utilizando um tempo de rastreamento de aproximadamente uma hora. Os pontos tomados como base para o rastreamento, foram os pontos da RGR da RMR. Os pontos estão discriminados por bloco de aerotriangulação no quadro 4 a seguir exposto.

Quadro 4: Quantitativo de pontos da RGR, por bloco de aerotriangulação, realizados na 3ª etapa do Projeto UNIBASE.

Nº	BLOCO	PONTOS	Nº	BLOCO	PONTOS
01	Moreno	17	20	Ponte Sul	12
02	Gaibu	21	21	Araçoiaba	10
03	Itamaracá	17	22	Forte Orange	10
04	Ceasa	33	23	Prazeres Sul	35
05	Jussaral	7	24	Prazeres Norte	21
06	N.S.O	10	25	Igarassu Sul	36
07	Muribeca	7	26	Cabo 3	5
08	S. L. Mata I	29	27	Cabo 2	15
09	S. L. Mata li	36	28	Camela	9
10	Porto	19	29	Igarassu	23
11	Jaboatão	34	30	Itapissuma B-3	14
12	Cabo Sul	11	31	Água B-4	11
13	Munguba	27	32	Nova Desc. B-5	8
14	Suape	29	33	Neuro B-8	10
15	Engenho Novo	8	34	Olinda B-7	11
16	Pontezinha	13	35	Torre B-9	14
17	Bonanza	11	36	Tacaruna B-10	11
18	Paulista	37	37	Andreasa B-11	14
19	Maria Farinha	20	38	Cohab Cabo B-13	12
				TOTAL	667

2.4 Material Cartográfico Gerado

2.4.1 Utilização da Fotogrametria

Foi a fotogrametria introduzida no País pelo Serviço Geográfico do Exército, tendo como responsável direto o técnico austríaco Emílio Wolf, que executou o primeiro levantamento aerofotogramétrico do então Distrito Federal, em 1922. Deve-se a este técnico, também, a construção de Estereógrafo, aparelho de restituição utilizado durante muito tempo por aquela instituição. Atualmente pode-se dizer que acompanhamos o desenvolvimento da moderna tecnologia, com as inevitáveis limitações impostas pelas dificuldades econômicas. A utilização da Fotogrametria, tanto aérea como terrestre, vem tomando um impulso cada vez acentuado entre nós, im-

pondo-se como meio indispensável ao planejamento e projeto de um crescente número de áreas de atividade (ANDRADE 1997).

Os levantamentos topográficos passaram a recorrer ao chamado método fotogramétrico, cujo objetivo é a medição sobre fotografias aéreas.

Na RMR os levantamentos foram realizados utilizando o método fotogramétrico, tendo como produto as folhas topográficas da SUDENE, executadas em 1972, pelo método de restituição analógica. O Projeto SACS-291 Serviço Aerofoto Cruzeiro do Sul etapas A, B e C foi realizado em 1973 e 1988, tendo como produto as ortofotocartas (fotografias retificadas). E finalmente o Projeto UNIBASE, que teve as “plantas topográficas cadastrais (PTC)” como produto final, que são cartas planimétricas realizadas por restituição analógica e digital nos períodos 1984 a 1988 e 1997 a 2002.

O esquema das operações para a realização dos produtos cartográficos são:

- 1 – Planejamento de vôo
- 2 – Execução do vôo
- 3 – Revelação do filme (Serviços de laboratório)
- 4 – Apoio terrestre
- 5 – Aerotriangulação
- 6 – Restituição
- 7 – Estereocompilação
- 8 – Reambulação
- 9 – Mapa final

(LOCH e LAPOLLI 1994).

Reportando ao Sistema Geodésico de Referência, mostra-se no quadro 5 a evolução das implantações das redes geodésicas e também a evolução da implantação da rede de apoio geodésico.

Quadro 5 : Resumo do desenvolvimento da RGR por período com a indicação de qual o evento que foi responsável por sua realização.

IMPLANTAÇÃO DE REDE GEODÉSICA

ORDEM	PERÍODO	EVENTO	ELIPSÓIDE
01	1940 1960	a Rede Clássica da Triangulação do Nordeste 3ª DL	Hayford
02	1954 1964	a Vértices de Triangulação do Estado de Pernambuco IBGE	Hayford
03	1984	Rede de poligonação IBGE	Internacional de 1967

IMPLANTAÇÃO DE REDE DE APOIO GEODÉSICO

ORDEM	PERÍODO	EVENTO	ELIPSÓIDE
01	1950	Grupo Condor Engenharia LTDA	-
02	1970 1975	a Serviço Aerofoto Cruzeiro do Sul 480 pontos geodésicos	Hayford
03	1982 1984	a Projeto UNIBASE 2ª Etapa PROSPEC S/A 206 pontos geodésicos	Internacional de 1967
04	1997 2001	a Projeto UNIBASE 3ª Etapa PROSPEC S/A 667 pontos geodésicos	Internacional de 1967

2.4.2 Produtos Gerados

A Região Metropolitana do Recife possui o seu recobrimento cartográfico bem diversificado quanto às escalas, ao período de recobrimento, aos elipsóides de referência utilizados e aos tipos de documentos cartográficos. Existem conforme quadro 6 uma diversidade de mapeamento, desde ortofotocartas até plantas topográficas cadastrais.

O quadro 6 apresenta o quantitativo de material cartográfico gerado com a indicação da escala, ano da sua realização, órgão contratante, o elipsóide ao qual as cartas foram referenciadas e o tipo do material cartográfico quanto às dimensões da representação.

Quadro 6 : Material cartográfico discriminado por ano de realização, escala, elipsóide de referência e o órgão responsável pela sua elaboração.

Quant.	Discriminação	Tipo	Escala	Elipsóide	Ano	Órgão
4	Folhas topográficas	Planialtimétrica	1/100.000	Hayford	1972	SUDENE
30	Folhas topográficas	Planialtimétrica	1/25.000	Hayford	1972	SUDENE
125	Ortofotocartas	Planialtimétrica	1/10.000	Hayford	1988	FIDEM
942	Ortofotocartas	Planialtimétrica	1/2000	Hayford	1973	FIDEM
1500	Planta topográfica cadastral	Planimétrica	1/1000	Internacional 1967	1998	FIDEM

3. IMPLANTAÇÃO DE UMA REDE GEODÉSICA DE REFERÊNCIA POR GPS

3.1 Introdução

No segundo capítulo dessa dissertação, foi visto que existem pontos da RGR da RMR que nos diversos sistemas geodésicos de referência. Os usuários das diferentes cartas e dos próprios sistemas de coordenadas reclamam da existência de distorções. Estas distorções se constataam nas observações realizadas nas diversas etapas das análises, que estão apresentadas nos capítulos 3 e 4.

Para atender a proposta deste trabalho, cujo objetivo é estudar as distorções na rede geodésica de referência da RMR e indicar os procedimentos mais modernos para uso de uma rede geodésica de referência, foi implantada uma nova rede com tecnologia GPS. Neste capítulo, para uma melhor compreensão do leitor, são revisitos alguns conceitos básicos do Sistema de Posicionamento Global (GPS), os tipos de posicionamento, e as modernas redes de referência no País. As principais especificações ou normas relativas a estes sistemas adotados no País, e no exterior, são comentadas, bem como os principais aspectos relacionados às redes geodésicas de referência nacional e estadual existentes no País.

3.2 Conceitos Básicos de GPS

O principal problema geodésico pode ser compreendido como o de posicionar pontos no espaço euclidiano, o que significa atribuir-lhes coordenadas geoespaciais. ROMÃO (2002) afirma que, do ponto de vista prático, atingir os objetivos em geodésia “*significa localizar precisamente pontos sobre a superfície da terra*”. Esta tarefa, embora atualmente seja feita com rapidez e simplicidade usando satélites artificiais adequados a este fim, até a década da 1950 era realizado por meio da mistura da Geodésia com a astronomia de posição.

Com o advento da era espacial, e a possibilidade de utilização dos satélites artificiais, a comunidade geodésica mundial vem explorando todo esse enorme potencial tecnológico, com vistas ao estabelecimento de métodos de posicionamento cada vez mais rápidos e precisos.

Até a década de 1970, o Sistema TRANSIT prestou um eficiente apoio para o posicionamento geodésico e para a navegação marítima. Entretanto, razões relacionadas com a estrutura do sistema não permitiram que o mesmo fosse usado para a navegação aérea e impunham restrições diversas ao posicionamento geodésico de precisão (ROMÃO 1982). Para resolver os problemas existentes neste sistema surgiu, desde 1973, o Sistema de Posicionamento Global (GPS) destinado inicialmente a atender à navegação.

O projeto NAVSTAR/GPS (NAVigation Satellite with Time And Ranging) ou GPS, implantado em 1973, tornou-se um dos mais modernos sistemas de posicionamento geodésico em uso em todo mundo (SEEBER 1993). Este sistema de navegação por satélite fornece, a usuários adequadamente equipados, informações precisas das posições tridimensionais e de navegação, bem como informações de tempo. Com isso, as mais criteriosas e demoradas operações geodésicas passam a usufruir os benefícios advindos desta técnica de posicionamento, principalmente devido à rapidez, economia, precisão compatível e independência das condições atmosféricas. E assim o sistema de posicionamento cumpre a função básica de determinação precisa de coordenadas da superfície da Terra.

Este sistema é subdividido em três segmentos: espacial, que corresponde à constelação dos satélites; de controle, responsável pela operação do sistema e com a função primordial de atualizar as mensagens de navegação transmitidas pelos satélites; e, finalmente, o numeroso segmento do usuário, que abrange desde os receptores utilizados no rastreamento até algoritmos e software.

O Sistema GPS é composto de uma constelação de 24 satélites, distribuídos em 6 planos orbitais igualmente espaçados com 4 satélites em cada um, cuja órbita elíptica gravita a 26.600 km do centro de massas da Terra, situada em um dos seus focos (GALDINO 1996).

O Sistema GPS foi declarado completamente operacional em 27 de abril de 1995. Nessa época, havia em órbita 25 satélites pertencentes aos blocos I e II. A situação atual registra que já foram criados 4 blocos de lançamentos a saber: bloco I, bloco II, bloco II-A, e bloco II-R, dando um total de 43 satélites lançados. Excluindo-se os 14 satélites, que foram desativados, encontram-se em órbitas e em situação operacional 29 satélites distribuídos nos 3 últimos blocos. Encontra-se em fase

de implantação o segmento espacial dos satélites do bloco II-F, que juntamente com o bloco II-R aumentará em muito a capacidade do GPS (MONICO 2000).

O princípio básico de navegação com GPS consiste na medição das pseudodistâncias entre a antena do receptor que é o usuário e 4 satélites emissores de radiação. Conhecendo-se as coordenadas das posições dos satélites, em um sistema de referência, calculam-se as coordenadas do centro de fase da antena do usuário. O cálculo é efetuado a partir da medição do tempo de transmissão dos sinais enviados pelo satélite multiplicado pela velocidade de propagação desses sinais, até o receptor.

Segundo VASCONCELLOS et BLITZKOW (2003) *existem diversos métodos de utilização do Sistema de Posicionamento Global, tendo por princípio a medida das observáveis pseudodistância ou fase da onda portadora, seguida do ajustamento ou processamento dessas observáveis.*

Os sinais usados no sistema GPS são de três tipos: portadora, códigos e dados ou mensagens de navegação. Os satélites do Sistema NAVSTAR-GPS transmitem duas frequências portadoras da Banda L do espectro eletromagnético, produzidos nos osciladores atômicos (Cs e Rb) dos satélites GPS. Para o bloco IIR foram previstos osciladores ainda mais precisos, os de Hidrogênio – Maser (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation). As observáveis básicas do GPS que permitem determinar posição, velocidade e tempo podem ser identificadas como: pseudodistância a partir do código e fase da onda portadora ou diferença de fase da onda portadora.

Espera-se para o futuro próximo (2008), que a estrutura do sinal sofra duas modificações: em primeiro lugar, que a modulação do Código C/A, seja inserida sobre a já existente portadora L2, que atualmente tem disponível apenas o código P; e em segundo lugar que a estrutura do sinal seja baseada também sobre uma nova portadora L5. Essa nova portadora, com frequência de 1.176,45 MHz, será posicionada dentro do domínio espectral do Serviço de Rádio Navegação da Aeronáutica (ARNSS) (MONICO 2000).

Existe hoje uma intensa investigação com vistas à modernização do sistema GPS, para beneficiar os usuários militares e civis. Trata-se de uma tarefa difícil e que apresenta custo muito elevado. As melhorias devem ocorrer nos dois segmentos principais, a saber, o de controle e o espacial.

No segmento de controle, o que se espera que vá ocorrer é o seguinte: com a eliminação da disponibilidade seletiva SA, pretende-se a colocação de um novo controle, ou seja, o código SD (Selective Denial - proibição seletiva); um grupo executivo da sociedade civil passou a ter membros participando na resolução de assuntos sobre GPS, além dos militares; anunciou-se a melhoria da acurácia (Accuracy Improvement Initiative - AII), iniciativa para melhoria da acurácia, que integrará 14 estações monitoras, resultando na melhoria da qualidade das órbitas e correção dos relógios dos satélites; os satélites dos blocos II-R e II-F terão navegação autônoma (MONICO 2000).

Semelhantemente ao GPS, existe outro Sistema de Posicionamento, que obtém resultados com precisão equivalente, que é o GLONASS, a seguir discriminado.

O sistema GLONASS foi formado desde 1970, desenvolvido para navegação com um sistema muito similar ao do GPS. O GLObal NAVigation Satellite System (GLONASS) foi colocado oficialmente em operação em 24 de Setembro de 1993. O GLONASS pode ser usado sozinho, ou junto com o GPS, para aplicações geodésicas (MONICO 2000).

Por outro lado, o relacionamento futuro entre o GPS e o GLONASS vai proporcionar grandes resultados para o posicionamento, pois haverá um aumento na quantidade de satélites. O GPS e GLONASS possuem características similares o que possibilita uma aplicação em trabalho conjunto. Espera-se assim, em futuro próximo, que o posicionamento absoluto e, portanto, no sistema geocêntrico WGS 84, apresente nas coordenadas geodésicas de pontos na Terra uma melhor exatidão. A integração de dados GLONASS e GPS, têm sido objeto de muitas pesquisas (MONICO 2000).

3.2.1 Aplicações do GPS

As principais aplicações do sistema NAVSTAR/GPS são as seguintes: apoio geodésico para fins de cadastro, cartografia, monitoramento de deformações locais e globais de placas tectônicas e ainda controle de grandes obras; navegação e controle tais como: frotas de emergência, busca e salvamento, frotas de caminhões e táxi; aplicações marítimas: navegação, levantamentos oceanográficos, posicionamento de plataformas e bóias; aplicações aéreas: controle da navegação em geral, aproximação para pousos, aerofotogrametria, aerogeofísica; aplicações espaciais: controle

de satélites que desempenham tarefas de levantamentos e sensoriamento remoto (ANDRADE 1990).

Algumas aplicações não convencionais do GPS são encontradas nos serviços de logística de transporte, telecomunicações, energia e saneamento. Existem informações também do uso deste sistema no monitoramento e controle da vida animal no planeta e suas rotas para acasalamento e reprodução biológica das espécies.

MONICO (2000) salienta ainda que existem outras atividades em que este sistema tem demonstrado grande potencialidade, que incluem *“agricultura de precisão, estudos relacionadas a atmosfera, turismo e pesca”*.

Uma outra aplicação importante é o controle de deformações de obras de grande porte e na investigação de subsidência do solo. ROMÃO et al (2003) afirma sobre o assunto que *“os resultados de pesquisas conduzidas em diversas partes do mundo têm demonstrado que a tecnologia GPS aplicada a um conceito de rede pode oferecer alto grau de acuracidade, permitindo a detecção de subsidência de solo em nível de poucos centímetros”*.

Entretanto, a aplicação de maior destaque desta técnica de posicionamento consiste na implantação de redes de referência, que compreendem desde as redes mundiais, redes continentais, nacionais (como por exemplo no Brasil a Rede Nacional GPS, a RBMC e a RIBAC) até as redes municipais, prescritas na NBR14166: 1998.

Por considerar que este trabalho trata de redes de âmbito local, as redes de referência estaduais e as situadas em regiões metropolitanas serão comentadas a seguir, nos itens 3.2.4, 3.2.5 e 3.3

3.2.2 Os Métodos de Posicionamento GPS

O termo posicionamento por tecnologia GPS, pode ser compreendido como a determinação das coordenadas de posição de pontos, na superfície da Terra, em relação a um referencial específico, utilizando-se das medições nos sinais de rádio transmitidas pelos satélites. Conhecendo-se as coordenadas dos satélites, definidas no sistema WGS 84, as coordenadas de pontos onde estão localizadas as antenas GPS do usuário, podem ser obtidas no mesmo sistema dos satélites (WGS 84), as

quais são posteriormente transformadas para o sistema geodésico local (no caso do Brasil, o SAD 69).

O posicionamento é dito absoluto quando as coordenadas do ponto são referidas ao sistema geocêntrico do satélite (WGS 84), e sua precisão é diretamente dependente da precisão do sistema de referência geocêntrico. Neste caso, apenas um receptor GPS é utilizado para o posicionamento isolado.

Quando as coordenadas são obtidas em relação a um ou mais vértices com coordenadas conhecidas em um determinado sistema de referência, o posicionamento é dito relativo. Neste caso, dois ou mais receptores são utilizados em campo.

Conclui-se que o tipo de posicionamento neste caso refere-se exclusivamente ao referencial adotado, geocêntrico ou local.

Portanto, no posicionamento relativo, a posição de um ponto é calculada com relação à de outro ponto, cujas coordenadas são previamente conhecidas. As coordenadas do ponto conhecido devem estar referenciadas ao Sistema Geodésico WGS84 ou em um Sistema Geodésico Local.

O quadro 7 apresenta as precisões e características no posicionamento relativo.

Quadro 7 : Precisão e Características no Posicionamento Relativo (Fonte: ROMÃO 2002).

Métodos	Precisão	Características
Estático	$\pm 0,1\text{mm a } \pm 1 \text{ ppm}$	Longo tempo de observação (horas) Longas linhas de base
Estático-rápido	$\pm (5\text{mm} + 1 \text{ ppm})$	Curto tempo de observação (minutos) Linhas de base $\leq 10 \text{ km}$ Receptor de 2 frequências Boa geometria dos satélites
Semi-cinemático	$\pm 3\text{mm a } \pm 10 \text{ ppm}$	Curto tempo de observação (segundos) Manter ligação a min. 4 satélites depois da inicialização
Pseudo-cinemático	$\pm (5\text{mm} + 1 \text{ ppm})$	Curto tempo de observação (minutos) Necessidade de reocupação

Segundo ROMÃO (2002), no procedimento estático os receptores permanecem estacionários durante todo o tempo de observação. Aqui os resultados obtidos são provenientes das medições seqüenciadas às épocas (tempo de registro das observações) durante um determinado espaço de tempo. Para a solução das ambigüi-

dades de fase das portadoras é necessário realizar observações durante um longo período. A definição do tempo de observação vai depender, entre outros fatores, da distância entre os pontos (comprimento da linha de base), do número de satélites observáveis e da geometria da constelação. O método estático oferece precisão geodésica exigida para os diversos níveis de rede (ver quadro 7).

Desde meados da última década tem-se intensificado o emprego de métodos rápidos para as mais diversas aplicações geodésicas, principalmente devido ao acelerado desenvolvimento de hardware e de software no mercado.

A desvantagem aqui está na solução das ambigüidades dos sinais de um mínimo de 4 satélites que deve ser mantida em todo o tempo de observação. Estes métodos rápidos são ainda classificados, de acordo com o tipo e aplicação, em estáticos-rápidos, métodos semicinemáticos (Stop and Go) e cinemático puro. Os métodos cinemáticos e semicinemático têm a grande vantagem da rapidez, pois um grande número de pontos pode ser levantado em muito pouco tempo. Segundo ROMÃO (2003) apud RIMONDI (1985), com o uso destes métodos rápidos é possível ter-se uma solução de ambigüidades em poucos minutos. As dificuldades operacionais, aliadas às limitações no comprimento da linha de base, se traduzem na impossibilidade do uso dos métodos rápidos em redes geodésicas.

Neste trabalho, onde se implantou uma rede geodésica por tecnologia GPS foi utilizado, portanto, o posicionamento relativo com o método estático. O ponto de coordenadas conhecidas foi a estação RECF, pertencente a RBMC.

3.2.3 Especificações sobre Levantamentos GPS

As modernizações tecnológicas trazidas pelo sistema GPS provocaram a necessidade de se proceder à classificação dos levantamentos executados com esta tecnologia. O IBGE elaborou as especificações e normas gerais para levantamentos GPS (normas preliminares) em dezembro de 1992, e neste documento a categoria de alta precisão se subdivide em dois sub-grupos: científico e fundamental (ou de 1ª ordem) com precisões associadas respectivamente melhores que 1/500000 e 1/1000000, conforme se verifica no quadro 8 (IBGE 1992).

Estas especificações do IBGE descrevem todo o sistema GPS, inclui conceitos sobre códigos, portadoras, tipos de observação, técnicas de posicionamento,

tabela as técnicas com relação às observações, aplicações e precisão, geometria da rede, observações de campo e processamento (SILVA et al 2003).

Nestas normas do IBGE o que se percebe, no entanto, é a falta de atualização, devido aos novos algoritmos de processamento para resolução de ambigüidades, dos novos desenvolvimentos de hardware (os receptores), e de classificação de precisão dos métodos rápidos. Também deveriam ser incorporadas explicações sobre ajustamento pelo método dos mínimos quadrados e análise dos resultados em relação à precisão e exatidão.

Para permitir rápida comparação às especificações brasileiras expostas no quadro 8, apresenta-se no quadro 9, documento editado e elaborado pelo Federal Geodetic Control Comitê (FGCC), contendo as classificações e exatidões por categorias de levantamento.

A norma do FGCC, uma das mais antigas e ainda utilizadas nos EUA, tem, conforme SILVA et al. (2003), *“como característica principal a preocupação com a classificação de padrões e precisão de levantamentos, para o método de posicionamento estático, visto que na época os métodos rápidos ainda não eram confiáveis. A norma especifica o projeto de redes, geometria e conexões à rede nacional dos EUA e tem exigências rigorosas para uso obrigatório de bases independentes e laços fechados em quantidades que variam conforme a classe do levantamento”*.

A norma do FGCC também trabalha com desvio padrão em nível de confiança de 95% e prescreve a necessidade do ajustamento das observações de redes tridimensionais pelo método dos mínimos quadrados.

No quadro 9, apresentam-se as citadas especificações agrupadas por categorias de levantamento, segundo os padrões de exatidão geométrica mínima. Segundo STREIFF (1999), ao realizar levantamentos GPS segundo estas especificações, tem-se que *“as coordenadas da estação de referência devem ser muito bem determinadas. E essa determinação deve ser feita da forma mais rigorosa possível, tomando-se cuidados como, a localização do vértice, o tempo de rastreamento, a geometria dos satélites, um mínimo de dois vetores para a determinação de coordenadas do vértice, o programa utilizado para o processamento e ajustamento dos dados e as perdas de ciclo”*.

No presente trabalho, a rede GPS, implantada para a análise da Rede Geodésica de Referência da RMR, segundo as especificações do IBGE, enquadra-se na

categoria de redes secundárias, ou seja, a categorias que contempla os trabalhos com resultados melhores que 1ppm, conforme quadro 8.

Quadro 8 : Classificação dos Levantamentos GPS (Fonte IBGE 1992).

NÍVEL	CATEGORIAS DE LEVANTAMENTO	APLICAÇÃO DO SISTEMA	EXATIDÃO	ESCALA
CIENTÍFICO	Geodinâmica Global e Regional	Medidas de Deformação	0,01 ppm	1/100.000.000
		Estudo da Deriva Continental		
		Determinação da Deriva do Pólo		
	Serviço de IGS			
CIENTÍFICO	Geodinâmica Regional e Local Sistemas Geodésicos Nacionais Rede Primária	Medidas de Deformação Estrutura de Controle (RBMC)	0,1 ppm	1/1.000.000
	Geodinâmica Local Sistemas Geodésicos Nacionais Rede Secundária	Medidas de deformação Levantamentos de Engenharia Altamente Preciso Densificação do SGB	1 ppm	1/1.000.000
FUNDAMENTAL	Rede Fundamental 1ª Ordem	Levantamentos Geodésicos	2 ppm 10 ppm	1/500.000 1/100.000

Pode-se afirmar também que a Rede Geodésica de Referência implantada para o presente trabalho enquadra-se na ordem B do FGCC, conforme quadro 9.

Quadro 9 : Normas de exatidão no posicionamento relativo (Fonte:STREIFF 1999).

CATEGORIAS DE LEVANTAMENTOS	Ordem	Padrão de Exatidão Geométrica Mínima (95% de nível de confiança)		
		Erro Base	Erro dependente do comprimento da linha de base	
			E (cm)	p (ppm)
Geodinâmica global e Regional; medição de Deformações.	AA	0,3	0,01	1 : 100.000.000
Sistema geodésico, redes Primárias; geodinâmica Regional e local; medição de deformações.	A	0,5	0,1	1 : 10.000.000
Sistema geodésico, redes Secundárias; geodinâmica local; conexões a rede Primária; medição de deformações; levantamento de alta exatidão para engenharia.	B	0,8	1	1 : 1.000.000
Sistema geodésico, Levantamentos por geodésia terrestre, apoio para mapeamento; registro público imobiliário; Informações sobre uso da terra; necessidades diversas no âmbito da engenharia.	C1	1.0	10	1 : 100.000
	C2-I	2.0	20	1 : 50.000
	C2-II	3.0	50	1 : 20.000
	C3	5.0	100	1 : 10.000

3.2.4 Redes GPS Estaduais e Municipais

As redes GPS estaduais surgiram com a proliferação do uso da tecnologia GPS para implantação de apoio topográfico. Desta forma, alguns estados mobilizaram-se, e outros vêm se mobilizando, no sentido de estabelecer uma rede GPS que, futuramente, possa ser integradas em uma única rede nacional (CINTRA 1997).

SANTOS (1998) afirma que já foram executadas as redes GPS estaduais dos seguintes estados: Paraná, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul e São Paulo e Minas Gerais. Em Pernambuco foi implantada uma rede GPS estadual, mas ainda não homologada pelo IBGE. A homologação não houve devido a certos ajustes:

- Os marcos implantados não atendem as especificações do IBGE
- As localizações dos marcos não são de livres acessos, pois ficam trancados por cercas nas estações de transmissão de alta tensão.

Segundo SANTOS (1996) apud PEREIRA (1993), a rede do Estado de Pernambuco ficaria ligada à Rede Nacional GPS através da estação UFPE-Recife, como uma estação de referência de alta precisão.

A rede GPS estadual de Pernambuco foi implantada no período de fevereiro de 1992 a abril de 1993, com uma extensão de 650 km x 180km, contendo mais de 76 estações, cobrindo todo o estado de Pernambuco. As distâncias entre as estações variam de 3 km a 175 km. Cinco dos 76 pontos (CACI, CUPI, FARI, CARI e SVDI) pertencem à rede de triangulação geodésica brasileira (ver figura 4), os quais foram utilizados para uma análise dos parâmetros de transformação entre os dois tipos de redes (ROMÃO et SILVA1996).

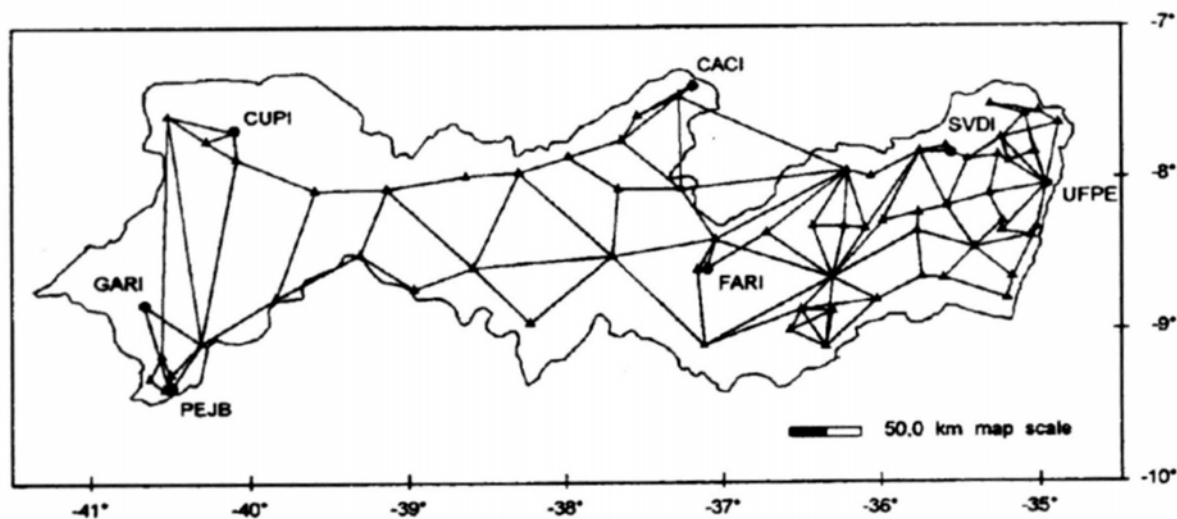


Figura 4: Rede de referência GPS no Estado de Pernambuco (Fonte: Romão 1995).

A respeito dos resultados dessas redes estaduais implantadas, SANTOS (1998) apud SEGANTINE (1995) e FONSECA JR (1996), afirma que essas implantações “*demonstram que a tecnologia GPS se apresenta como uma técnica efetiva e confiável, e que a precisão alcançada (poucos centímetros para vetores superiores a 100km de comprimento) se apresenta dentro dos valores preconizados para levantamentos geodésicos de alta precisão. No caso, em torno de 1ppm*”.

As figuras 5 e 6 mostram as elipses de erros e o vetorgrama das distorções da Rede GPS estadual de Pernambuco respectivamente.

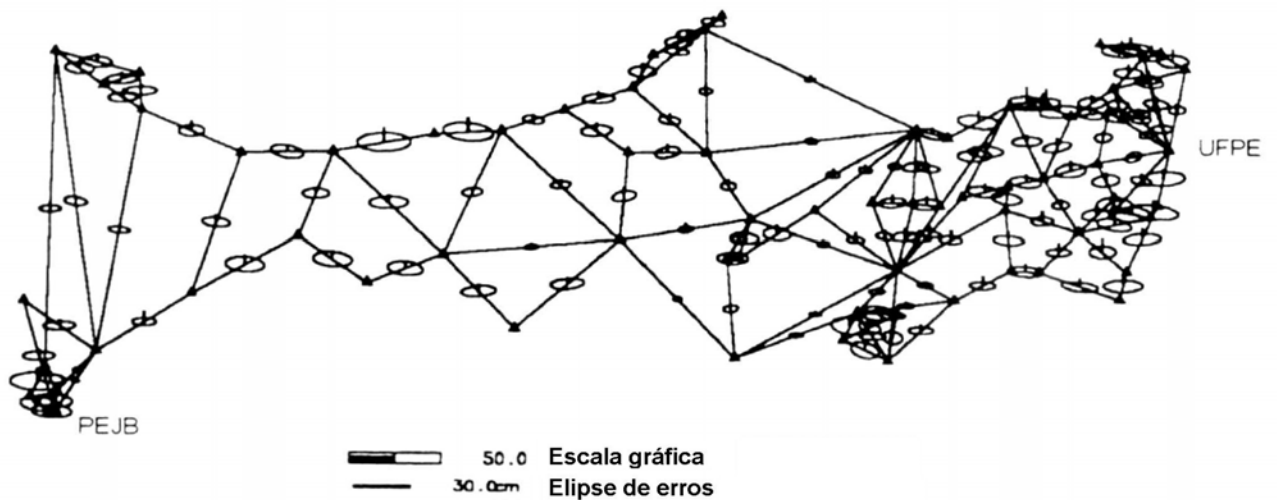


Figura 5: Rede de referência GPS no Estado de Pernambuco com as elipses de erros (Fonte: Romão 1995).

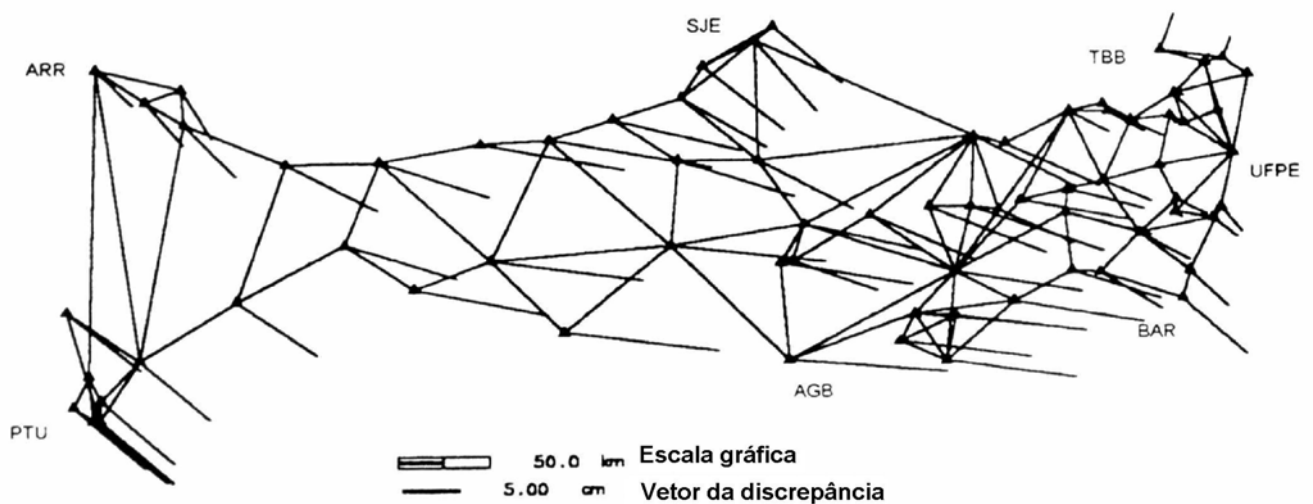


Figura 6: Rede de referência GPS no Estado de Pernambuco com o vetograma das distorções (Fonte: Romão 1995).

Conforme VASCONCELLOS et BLITZKOW (2003) “à medida que redes estaduais vão sendo implantadas, faz-se necessário sua vinculação àquelas já disponíveis, de modo que cada nova rede deva ser considerada uma extensão ou densificação das anteriores”. Este procedimento deve ser considerado na implantação das redes de referência cadastrais e municipais, como está preconizado na NBR14166: 1998 que trata dos procedimentos para implantação de uma Rede de Referência Cadastral Municipal, servindo de apoio geodésico e topográfico a todos os levantamentos para qualquer finalidade no âmbito municipal (ROMÃO et al 2002).

3.2.5 A Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC)

A Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC (anexo 1), implantada pelo IBGE, é uma rede ativa e de coleta permanente dos dados GPS. A RBMC é ligada ao SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico das Américas, que utiliza o elipsóide 1980 e o datum WGS84 (World Geodetic System 1984), exclusivo para o sistema GPS. Segundo FORTES (1995), a concepção inicial da RBMC previa a implantação de 8 estações de rastreamento contínuo no território nacional. No entanto, hoje existem no Brasil 15 (quinze) estações pertencentes à RBMC conforme quadro 10 (PEREIRA et al 2003) e figura 5.

A RBMC tem por objetivo construir uma infraestrutura geodésica de referência para posicionamentos, utilizando-se as modernas técnicas apoiadas no GPS, facilitando assim o emprego do sistema pelo usuário e, ao mesmo tempo, garantindo a qualidade dos resultados obtidos (PEREIRA et al 2003).

Conforme visto na seção anterior, como afirma PEREIRA et al (2003) *“a RBMC está passando por uma atualização de equipamentos (microcomputadores), e software, com vistas a melhorar o desempenho e gerenciamento das estações”*. Neste sentido, está sendo efetuada a substituição do programa de comunicação, de forma a permitir a transferência direta dos arquivos de observação via Internet.

Os usuários deste sistema de posicionamento GPS, dentro de um raio de atuação de 500Km, podem conectar os seus trabalhos topográficos e geodésicos de modo eficiente e rápido, utilizando-se apenas de um receptor GPS.

Está prevista ainda a redução da taxa de observação das estações de 15 para um segundo, o que suportará aplicações em tempo real em futuro próximo. Outra etapa em andamento é a da densificação da RBMC (PEREIRA et al 2003).

Vale acrescentar, no entanto, que este referenciamento à RBMC embora oficial, pode causar grandes distorções ao se vincular estas estações a redes geodésicas clássicas, pois a precisão destes é pelo menos dez vezes menor (PEREIRA et al 2003).

Quadro 10: Estações RBMC e data de sua implantação (Fonte: PEREIRA et al 2003)

Estado	Estação	Identidade	Código	Início de operação
CE	Fortaleza	FORT	92009	13-05-93
DF	Brasília	BRAZ	91200	03-03-95
PR	Curitiba	PARA	91105	13-12-96
SP	Pres. Prudente	UEPP	91559	18-12-96
BA	B. Jesus da Lapa	BOMJ	93030	18-02-97
AM	Manaus	MANA	91300	28-04-97
MG	Viçosa	VICO	91696	22-05-97
MT	Cuiabá	CUIB	92583	18-06-97
MA	Imperatriz	IMPZ	92165	16-02-98
RS	Porto Alegre	POAL	91850	28-10-98
BA	Salvador	SALV	93111	20-05-99
PE	Recife	RECF	93110	06-06-99
CE	Crato	CRAT	92300	09-05-00
RJ	Rio de Janeiro	RIOD	91720	21-07-01
RS	Santa Maria	SMAR	92013	09-10-01



Figura 7: Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC) (Fonte: PEREIRA 2003)

3.3 Transformação de Coordenadas

A transformação de coordenadas é uma relação funcional entre objetos geométricos de dois espaços. Neste estudo, empregam-se as transformações geométricas de similaridade, pertencente ao grupo chamado “grupo principal” de transformações geométricas (LUGNANI 1987).

Segundo KAHMENN et FAIG (1988), ao se referir a estas transformações, “o problema freqüentemente realizado é aquele em que as coordenadas de pontos em um sistema têm que ser transformadas para um outro sistema sendo comuns aplicações de transformações de coordenadas entre pontos de redes de ordem alta, onde usualmente as coordenadas estão expressas”. Uma das transformações mais usuais, a de similaridade ou conforme bi-dimensional, tem segundo o mesmo autor, no modelo plano, expressa a relação entre estes dois sistemas de coordenadas por meio de:

- a) duas translações ou deslocamentos (x_0, y_0) em ambas as direções;
- b) rotação por um ângulo φ ;
- c) multiplicação por fator de escala q para homogeneizar a métrica nos sistemas.

Também conhecida como transformação de quatro parâmetros, a transformação de similaridade tem a característica de manter a forma, sendo por isto chamada transformação conforme bi-dimensional. É evidente que esta transformação requer um mínimo de 2(dois) pontos, denominados pontos de controle, que sejam comuns em ambos os sistemas. Outrossim, caso existam mais de dois pontos de controle disponíveis, um ajustamento pelo método dos mínimos quadrados é possível (WOLF et GHILLANI 1997).

Foi escolhido o método de transformação de similaridade ou conforme para este trabalho devido aos pontos homólogos possuírem suas coordenadas no sistema de projeções conforme, portanto o método de transformação que melhor se adequa é o de conformidade.

Apresenta-se no quadro 11 as equações de transformação conforme bi-dimensional ou transformação isogonal de Helmert.

Quadro 11: Fórmula da transformação conforme bi-dimensional (Fonte: LUGNANI 1987).

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ -b & a \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \varepsilon \\ \eta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{bmatrix}$$

Ou

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = q \begin{bmatrix} \cos \varphi - \text{sen } \varphi \\ \text{sen } \varphi - \cos \varphi \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \varepsilon \\ \eta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{bmatrix}$$

No quadro 11, os elementos são descritos como segue:

X_0 : representa a translação em X;

Y_0 : representa a translação em Y;

φ : representa a ângulo de rotação;

q : representa a fator de escala;

(ε, η) : representa a coordenadas de entrada;

(X, Y) : representa a coordenadas de saída;

$$a = q \cdot \cos \varphi$$

$$b = -q \cdot \text{sen } \varphi$$

A figura 8 apresenta a representação gráfica dos sistemas (X, Y) e (ε, η) . Na transformação de similaridade de Helmert são dados r pontos com coordenadas conhecidas nos dois sistemas. Sendo n pontos conhecidos no primeiro desses sistemas de coordenadas, determina-se as coordenadas dos $(n-r)$ pontos no outro sistema (KAHMEN et FAIG 1988). O autor afirma que quando os pontos estiverem muito distantes da origem, suas coordenadas devem ser referidas ao centro de gravidade dos pontos de cada sistema.

Esta transformação, descrita em KAHMEN et FAIG (1988), pode ser resumida nas expressões matemáticas, com a indicação dos parâmetros de transformação,

utilizada para obtenção das tensões lineares dos resíduos dos pontos idênticos nos dois sistemas, como mostra o quadro 12.

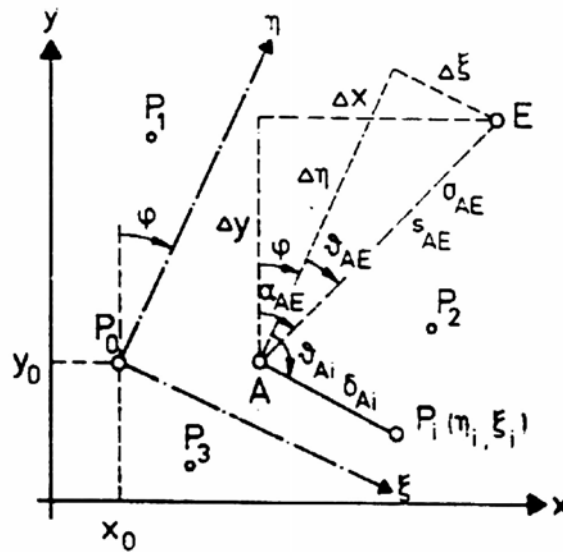


Figura 8: Transformação de similaridade ou isogonal ou conforme de Helmert.
Fonte: KAHMEN et FAIG 1988.

Quadro 12: Modelo matemático de transformação de Helmert (KAHMEN e FAIG 1988).

Coordenadas do centro de gravidade		
$X_s = \sum x / n$	$Y_s = \sum y / n$	$\epsilon_s = \sum \epsilon / n \quad \eta_s = \sum \eta / n$
Desvios		
$\Delta X_i = X_i - X_s$	$\Delta Y_i = Y_i - Y_s$	
$\Delta \epsilon_i = \epsilon_i - \epsilon_s$	$\Delta \eta_i = \eta_i - \eta_s$	
Parâmetros auxiliares de transformação		
$a = (\sum \Delta \eta_i \cdot \Delta y + \sum \Delta \epsilon_i \cdot \Delta x) / \sum (\Delta \epsilon_i^2 + \Delta \eta_i^2)$		
$o = (\sum \Delta \eta_i \cdot \Delta x - \sum \Delta \epsilon_i \cdot \Delta y) / \sum (\Delta \epsilon_i^2 + \Delta \eta_i^2)$		
Fator de escala		
$q = \sqrt{a^2 + o^2}$		
Ângulo de rotação		
$\phi = \arctg o/a$		
Centro de rotação		
$X_o = X_s - o \eta_s - a \epsilon_s$		
$Y_o = Y_s - a \eta_s + o \epsilon_s$		
Resíduos lineares		
$dx_i = (X_s + a \Delta \epsilon_i + o \Delta \eta_i) - X_i$		
$dy_i = (Y_s + o \Delta \epsilon_i + a \Delta \eta_i) - Y_i$		

onde:

(X_i, Y_i) e (e_i, η_i) são as coordenadas nos sistemas (X, Y) e (ϵ, η) .

O método empregado neste trabalho compreende a transformação conforme bi-dimensional, entre as coordenadas de vários pontos idênticos em dois sistemas, aplicada em três etapas distintas.

Os programas utilizados para as transformações já citadas foram em uma planilha gráfica Excel, desenvolvido pelo autor, e outro em linguagem FORTRAN 77 desenvolvido no DECart de autoria do Prof. Jaime Mendonça. Além destes, foi utilizado também o software ADJUST, programa didático livre desenvolvido por WOLF et GHILLANI (1997), os experimentos realizados neste software fazem parte do anexo 4.

3.4 Estimativa da Precisão, Acurácia e Tolerância do Produto Cartográfico

Antes de iniciar a descrição dos conceitos matemáticos e estimadores que possam traduzir o padrão de exatidão de um documento cartográfico, parece oportuno revisar o conceito de acuracidade, o qual, muitas vezes, geram certa confusão.

O conceito de acurácia ou exatidão busca avaliar o afastamento das coordenadas dos pontos da carta em relação às de uma referencial, considerada como padrão, ou seja; o afastamento das coordenadas retiradas da carta em relação às coordenadas do terreno, referidas ao Sistema Geodésico, na qual a carta foi projetada.

Quadro 13 : Classificação do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC)

(Fonte: DECRETO 89.817 1984).

ESCALA	CLASSE	PEC		ERRO - PADRÃO	
		PLANIMÉTRICO		PLANIMÉTRICO	
		CARTA (mm)	TERRENO (m)	CARTA (mm)	TERRENO (m)
1/1.000 UNIBASE	A	0,5	0,5	0,3	0,3
	B	0,8	0,8	0,5	0,5
	C	1,0	1,0	0,6	0,6
1 / 2.000 ORTOFOTO	A	0,5	1,0	0,3	0,6
	B	0,8	1,6	0,5	1,0
	C	1,0	2,0	0,6	1,2

Quanto à tolerância do produto cartográfico, esta é determinada por lei. O Decreto 89.817 de 20/06/84, define os padrões de classificação de uma carta quanto à exatidão. O quadro 13 apresentado mostra os indicativos do decreto 89.817, referente às escalas usadas no mapeamento da RMR e utilizadas nessa dissertação.

O artigo 8º desta lei menciona que as cartas, quanto a sua exatidão, devem obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), segundo o critério de que: noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao PEC planimétrico estabelecido;

Este tipo de problema terá solução apenas através da verificação preliminar da precisão da carta e posterior execução de verificações de campo, com o objetivo de inferir a magnitude dos erros absolutos de posicionamento de seus pontos, ou seja, qual o Padrão de Exatidão Cartográfica que a carta obedece (ANDRADE 1981).

3.4.1 Estimativa do Erro Planimétrico da Carta

O estabelecimento de um estimador para a acuracidade no trabalho utiliza as fórmulas de avaliação da precisão planimétrica, dos produtos cartográficos, contidas no trabalho de BRITO (1987) e descritas como se segue:

a) EMQ Total Planimétrico (M_p)

$$M_p = \sqrt{M_{pc}^2 + M_{pt}^2 + M_{pp}^2 + M_i^2 + M_{d_1}^2 + M_{d_2}^2}$$

onde:

EMQ= Erro Médio Quadrático

M_{pc} = Erro cometido na determinação planimétrica dos pontos de apoio de campo;

M_{pt} = Erro cometido na orientação absoluta, usando-se pontos de aerotriangulação;

M_{pp} = Erro devido às deformações na projeção e na observação de modelo estereoscópico;

M_i = Erro de Colimação ou erro de pontaria;

M_{d_1} = Erro do operador ao retocar a restituição;

M_{d_2} = Erro do operador durante a gravação ou erro de desenho;

O quadro 14 apresenta os valores empíricos para erros cometidos, nas várias etapas da elaboração de uma carta topográfica, executada pelo procedimento fotogramétrico. Os erros são dados em função das escalas das cartas.

Nesta pesquisa onde se estuda a distorção determinada de forma expedita, em documentos cartográficos, obtidos em diferentes processos fotogramétricos apresenta-se uma avaliação da exatidão planimétrica dos produtos analisados. Quanto ao erro cometido na determinação planimétrica dos pontos de apoio (Mpc), foi adotado o valor médio, equivalente a 0,125m, pois é o resultado da média aritmética dos erros planimétrico, dos pontos de apoio dos 47 blocos de aerotriangulações analisados.

Quanto á tolerância admitida na determinação dos pontos de apoio de campo, para os trabalhos cartográficos das plantas topográficas cadastrais do projeto UNIBASE, foi definida como; T_{xy} = tolerância planimétrica = 0,24 m

$$T_{xy} = [\sum (R_x^2 + R_y^2) / m] ^{0,5} \text{ m onde:}$$

R_x = Resíduo em X (entre pontos fotogramétricos e pontos de apoio)

R_y = Resíduo em Y (entre pontos fotogramétricos e pontos de apoio)

m = número de pontos

Quanto ao erro cometido na orientação absoluta, utilizando os pontos de aerotriangulação (Mpt), foi considerado a média do ajustamento da aerotriangulação dos 47 blocos, que teve como resultado 0,12m, que é equivalente a $20 \mu\text{m} \times E_d$, onde E_d é o denominador da escala dos diapositivos. Para a escala utilizada neste vôo aerofotogramétrico de 1:6. 000 tem-se como resultado 0,12m ($M_{pt} = 0,12\text{m}$).

Quadro 14: Valores empíricos para erros cometidos na elaboração de documentos cartográficos em função das escalas das suas execuções (ANDRADE 1981).

ERRO	SÍMBOLO	VALOR	OBSERVAÇÃO
Cometido na determinação planimétrica dos pontos de apoio de campo	Mpc	0,1 mm x Ec	Tolerância máxima segundo o manual técnico do exército T34 – 304- DSG
Cometido na orientação absoluta, utilizando pontos de aerotriangulação	Mpt	60 µm x Ed	Aerotriangulação analógica por faixas
		40 µm x Ed	Aerotriangulação analógica por bloco
		20 µm x Ed	Aerotriangulação analítica por faixas
		10 µm x Ed	Aerotriangulação analítica por blocos
De colimação ou pontaria	Mi	30 µm x Ed	Ed = Denominador da Escala dos Diapositivos (Normalmente igual a escala das fotos)
Devido às deformações na projeção e na observação do modelo estereoscópico	Mpp	20 µm x Ed	
Do operador ao retocar a restituição	Md ₁	0,15 mm x Er	Er = Denominador da escala de restituição
De gravação ou desenho	Md ₂	0,1 mm x Ec	Ec = Denominador da escala

Calculando a precisão dos trabalhos cartográficos das plantas topográficas cadastrais do Projeto UNIBASE, tem-se que o erro total planimétrico é:

$$M_p = \sqrt{M_{pc}^2 + M_{pt}^2 + M_{pp}^2 + M_i^2}$$

$$M_{pc} = 0,125m \text{ (já determinado anteriormente)}$$

$$M_{pt} = 0,120m \text{ (já determinado anteriormente)}$$

$$M_i = \text{Erro de colimação ou pontaria}$$

$$M_i = 30 \mu m \times E_d = 30 \times 10^{-6} m \times 6000 = 0,180m$$

$$M_i = 0,180m$$

Mpp = Erro devido às deformações na projeção e na observação do modelo estereoscópico.

$$M_{pp} = 20 \mu m \times E_d = 20 \times 10^{-6} m \times 6000 = 0,120m$$

$$M_{pp} = 0,120m$$

$$M_p = \sqrt{(0,125)^2 + (0,120)^2 + (0,180)^2 + (0,120)^2}$$

$$M_p = \sqrt{0,077} \quad M_p = 0,277\text{m}$$

O valor obtido para o erro total planimétrico, das plantas topográficas cadastrais, do projeto UNIBASE, é de 0,277m.

3.4.2 Resultados e Discussões

Os resultados acima obtidos em comparação com o PEC permitem concluir:

- O erro total planimétrico das cartas topográficas cadastrais, do projeto UNIBASE, encontra-se dentro dos limites, contidos nas especificações técnicas de serviço e atende às normas e padrões do decreto 89.817 de 20/06/84;
- Ainda que este estudo tenha sido realizado com dados concretos das listagens de aerotriangulação, restituição, colimação e deformações na projeção, o mesmo precisa de um estudo de discrepâncias entre as coordenadas obtidas de pontos da carta e aquelas oriundas de levantamento a partir da rede de referência da carta. Pois os resultados aqui apresentados foram discrepâncias entre os pontos de apoio e pontos fotogramétricos homólogos;
- Analisando o erro total planimétrico, utilizando os valores obtidos a partir do trabalho de campo com GPS executado em 1989, pelo Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco (DECart/UFPE), em conjunto com a missão alemã, obteve-se para a rede clássica de apoio da RMR uma de precisão de 0,40m (SEEBER 1989). Calculando o erro total planimétrico das cartas utilizando este valor de 0,40m para o valor do MPc (apoio) na equação já citada no item 3.4.1, o resultado total obtido foi de 0,470m, mostrando que esse valor atende ao erro máximo previsto para o PEC, o qual é de 0,50m (ver quadro 13).

3.5 Implantação de Redes GPS

3.5.1 Introdução

Desde sua implementação, o sistema GPS tem sido empregado, com grandes vantagens em relação às técnicas terrestres convencionais, na instalação de redes geodésicas nos seus diversos níveis de precisão (ROMÃO 1996; SEEBER 1993; SEEBER et ROMÃO 1997).

Uma rede geodésica por GPS deve ser implantada em etapas devidamente estudadas e que compreendem a definição do campo de pontos, as realizações das observações neste campo de pontos, o seu processamento e ajustamento das observações pelo MMQ, com análise dos resultados obtidos.

Uma rede de referência assim estabelecida fornece um arcabouço de pontos de controle uniforme para posteriores densificações, que são realizadas com o tempo, em decorrência das alterações físicas ocorridas no espaço urbano e rural, servindo para amarrar levantamentos tanto de áreas densamente populosas como de áreas rurais (ROMÃO et al.2002).

Com a finalidade de melhor análise às distorções anteriormente descritas, foi implantada uma rede constituída de 9 (nove) pontos por meio de tecnologia GPS, usando 6 equipamentos em rastreamento simultâneo e no método estático. Os procedimentos utilizados durante estes trabalhos encontram-se descritos nos itens a seguir.

3.5.2 Área de Trabalho

Foram escolhidos pontos que ocupam uma área de 711,3 km², que corresponde a 25,9 % da área total da RMR. A distribuição geográfica, forma uma figura com boa configuração geométrica.

Vale salientar que os 9 pontos escolhidos para a implantação da rede GPS, também estão localizados na região próxima ao centro dos blocos de aerotriangulação.

A figura 9 apresenta a distribuição da rede GPS implantada na RMR, e a importância destes pontos na RGR em função do seu valor posicional no apoio fotogramétrico, pois a partir deles pontos fotogramétricos podem ser irradiados.

A figura 9 mostra também os blocos de aerotriangulação.

Os blocos de aerotriangulação escolhidos foram os que contêm a rede de GPS-2003 implantada para esta dissertação.

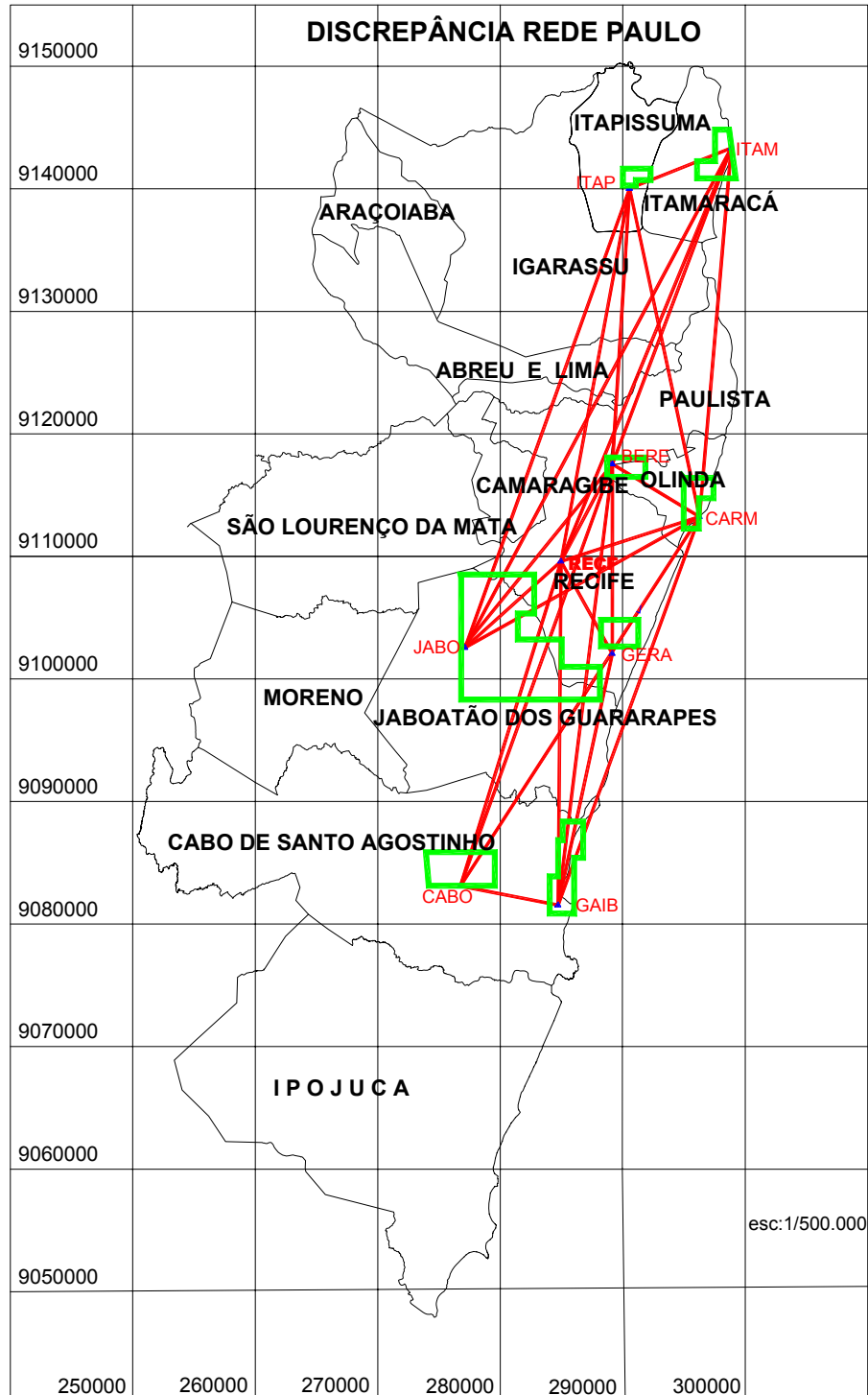


Figura 9: Distribuição da rede GPS na RMR e a indicação dos blocos de Aerotriangulação existentes.

3.5.3 Planejamento da Campanha GPS

O planejamento das atividades de rastreamento no campo foram feitas com o auxílio do módulo Quickplan do software GPSurvey, que apresenta dados da constelação dos satélites, para os dias da campanha. Os horários de trabalho em campo escolhidos com o auxílio dos gráficos gerados no módulo Quickplan que estão apresentados nos Anexos (anexo2). Estão assim indicados para a campanha os referidos gráficos de PDOP, número de satélites, azimutes e dados de elevação dos dias em que foram realizadas as observações de rastreios.

3.5.4 Levantamentos com GPS

A campanha executada em dois dias (dias 1º e 2 de abril de 2003), teve a utilização dos receptores da Trimble 4000SST, de dupla frequência; Rascal 8 (Allen Osborne Associates), de dupla frequência e Ashtech Z12, de dupla frequência , assim quantificado:

01 receptor TRIMBLE 4000SST;

02 receptores RASCAL 8;

02 receptores ASHTECH Z12;

3 bases e 3 tripés;

Baterias recarregáveis;

Um par de antenas;

Bastão graduado para leitura da altura da antena;

O número de estações foi 9 e os nomes das estações: RECF-JABO-CARM-BERE-ITAP-ITAM-GERA-CABO-GAIB (figura 9).

O levantamento foi realizado com o método estático, com tempo de rastreamento de 2 horas e 30 minutos de observação em cada ponto, uma máscara de elevação constante em 15° e uma taxa de gravação de 15 segundos, este intervalo de rastreamento é compatível com os dados da RBMC nos dois dias de observação, sendo todas as observações aproveitadas para o processamento dessa rede. As linhas de base radiais foram vetores obtidos a partir de RECF-RBMC de coordenadas conhecidas para os pontos listados no quadro 15 e no anexo 1.

As duas sessões de rastreamento, nos dias Juliano 091 e 092 permitiram a obtenção das linhas de base descritas abaixo a partir destas combinações possíveis para estes dias. Conforme se observa no quadro 15 e como foram utilizados seis receptores em duas sessões trabalhando simultaneamente, foram processadas 30 linhas de base.

As linhas de base foram processadas a partir da RBMC, a qual foi tomada como estação de referência, como estação fixa.

Quadro 15: Linhas de base rastreadas

LINHAS A PARTIR DA RBMC	SESSÃO	TEMPO	MÉTODO
RECF-JABO	1	2h30min	ESTÁTICO
RECF-CARM	1 e 2	2h30min	ESTÁTICO
RECF-BERE	1 e 2	2h30min	ESTÁTICO
RECF-ITAP	1	2h30min	ESTÁTICO
RECF-ITAM	1	2h30min	ESTÁTICO
RECF-GERA	2	2h30min	ESTÁTICO
RECF-CABO	2	2h30min	ESTÁTICO
RECF-GAIB	2	2h30min	ESTÁTICO

A figura 10 mostra a configuração da rede GPS, implantada para os devidos estudos de distorções.

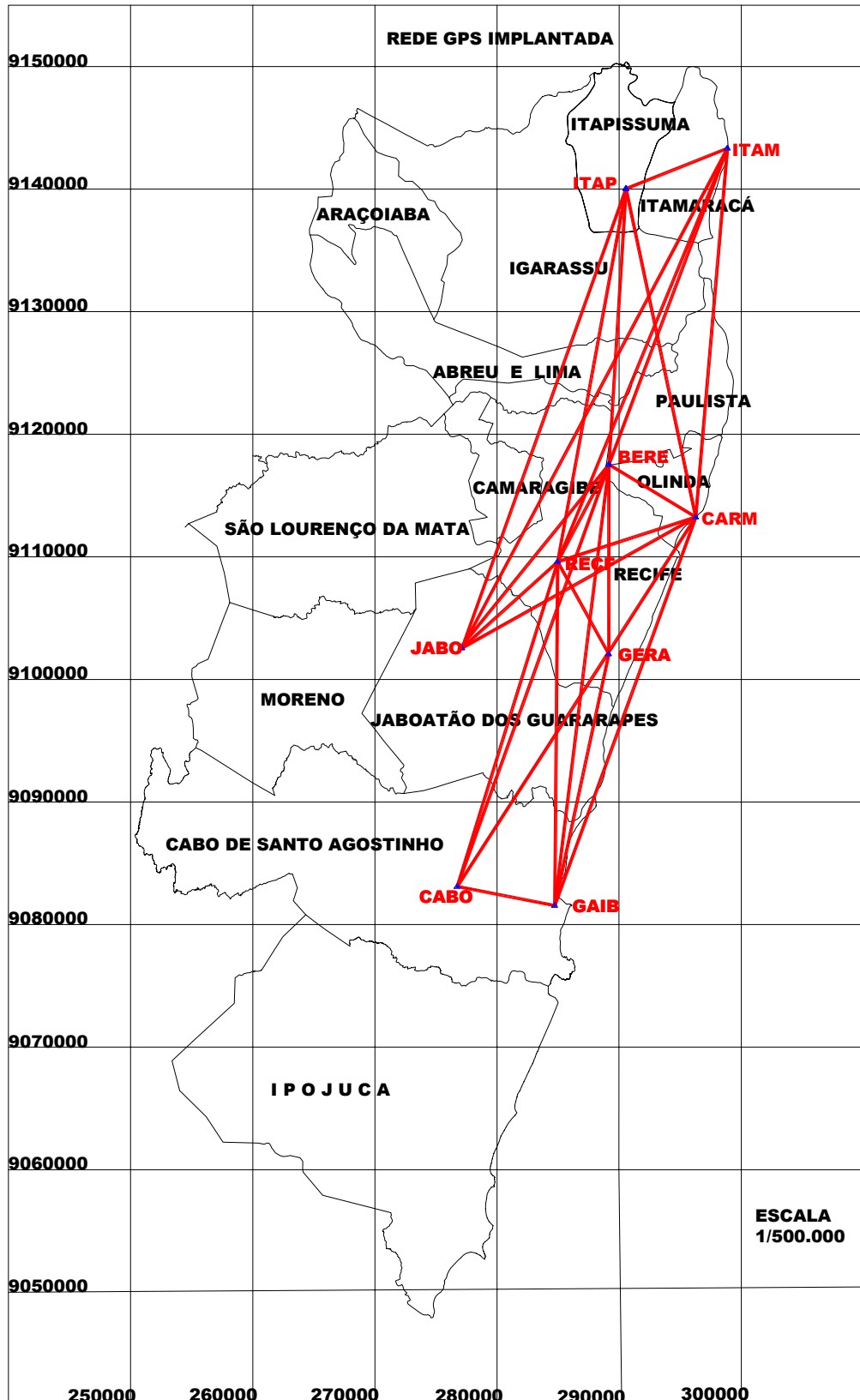


Figura 10 : Configuração da Rede GPS implantada na RMR.

3.5.5 Processamento dos dados

Os dados brutos dos arquivos de rastreamento, obtidos nos quatro tipos de receptores, foram descarregados e depois convertidos para o formato RINEX, utilizando o programa Grafnav da WAYPOINT. Posteriormente estes arquivos foram processados no software Gpsurvey.

O Gpsurvey um software comercial do fabricante TRIMBLE, utilizado para o pós-processamento dos dados obtidos do rastreamento simultâneo com o GPS (*Global Positioning System*) processa dados de rastreamento pelos métodos de levantamento estático, estático-rápido, *stop-and-go* e cinemático.

Permite o cálculo de coordenadas no sistema WGS-84, SAD-69 e outros, a transformação das coordenadas geográficas para planas e vice-versa. Através do módulo TRIMNET permite o ajustamento das linhas de base obtidas, fornecendo os parâmetros estatísticos como as coordenadas ajustadas, matriz variância-covariância, elipses de erros e histogramas. Os dados desse processamento encontram-se no anexo 2.

3.5.6 Resultado do Processamento

O processamento realizado por meio de ajustamento utilizando o software GPSurvey tem os seus resultados expressos em coordenadas geodésicas referenciadas ao sistema WGS-84, depois de ajustadas foram transformadas para o sistema SAD-69

Apresentam-se, neste item o resultado do processamento da rede e as tabelas de coordenadas, estatísticas e covariâncias anexo 2.

3.5.7 Discussões dos Resultados

a) Análise de resultados do ajustamento da rede implantada GPS

Dos resultados obtidos em dois ajustamentos realizados, inicialmente como ajustamento livre e depois com a estação RECF-RBMC fixa, verifica-se que as precisões das linhas de base ajustadas são compatíveis com as exatidões previstas nas especificações do IBGE e FGCC para levantamentos geodésicos de primeira ordem atingindo em alguns linhas de base a categoria de levantamento geodinâmicos. Con-

forme a tabela 2 em 72,3% dos vetores observados tem precisão superior a 2ppm, sendo realizados no método diferencial estático. Vale acrescentar que as distâncias dos vetores estão compreendidas conforme a distribuição :

Tabela 2 : Estratificação das linhas de base em função das exatidade.

Exatidade	Escala	Categoria do levantamento	Linhas de bases	%
<10ppm	1/100.000	Levantamento geodésico	1	2.7
2 a 10 ppm	1/100.000 a 1/500.000	Levantamento geodésico	9	25.0
2 a 1 ppm		Levantamento Geodésico local	11	30.6
>1 ppm		Levantamento Geodinâmico local	15	41.7

Conforme tabela 3 e anexo 2 as linhas de base observadas mais longas (entre 50Km e 65 Km) não tiveram influência nos resultados. Nas distâncias desta ordem os valores de precisão ficaram sempre entre 1:571.739 e 1:1.782.083.

Tabela 3 : Estratificação das linhas de base em função das distâncias.

Comprimentos	Número de linhas de base	%
0 a 10 km	8	22.2
11 a 20 km	6	16.7
21 a 50 km	18	18.0
51 a 65 km	4	4.0
TOTAL	36	36

A exceção entre as linhas a ITAP-ITAM , devido a possíveis problemas de multicaminhamento, mesmo tendo pequeno comprimento (8.929,00m) apresenta resultado de precisão baixa (1/100.000).

Conclui-se que:

- os sumários das covariâncias nas linhas de bases rastreados apresentaram erro de propagação linear em alguns casos melhor que 1:2.000.000;
- apenas a linha de base ITAM-ITAP apresentou um erro linear de 0,206m em uma base de comprimento 8.929,299m. Este resultado deveu-se ao fato constatado em campo do multicaminhamento dos sinais pela proximidade de edificações;

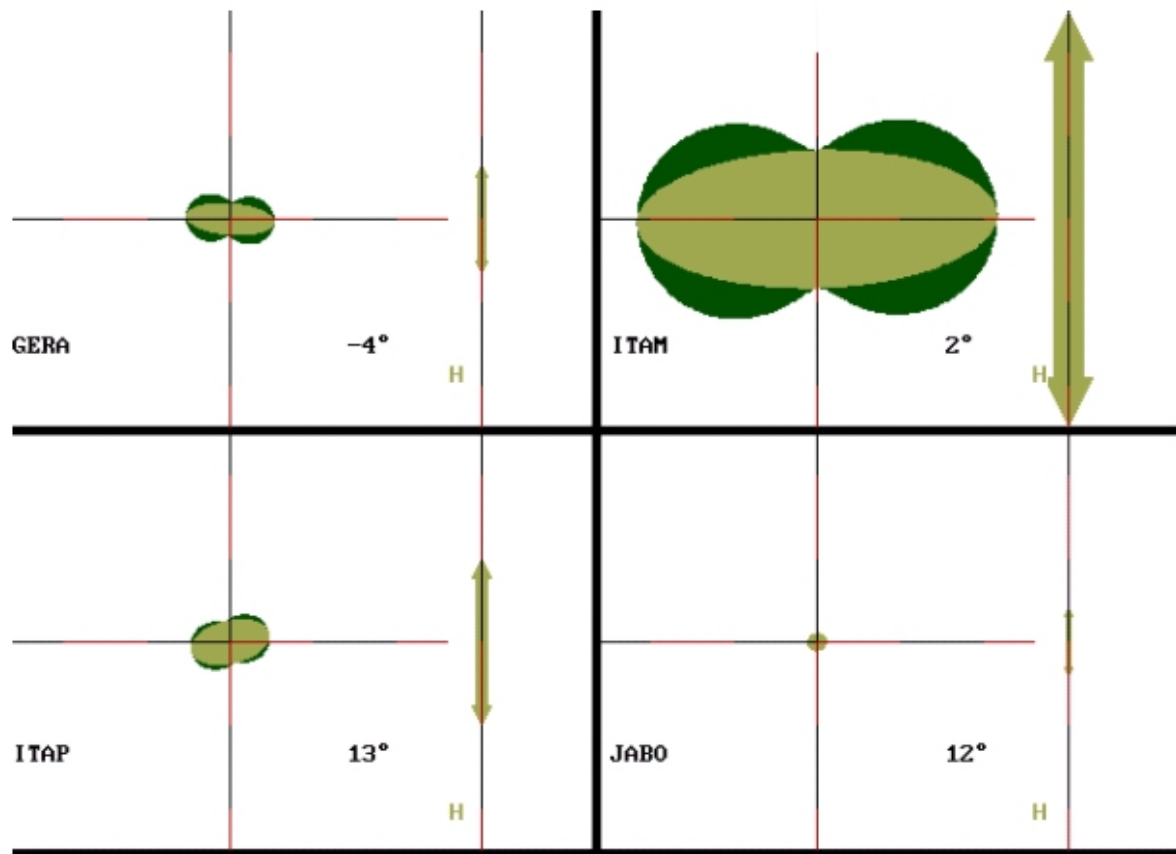
b) Análise de resultados do ajustamento livre

Quando da utilização do modo de ajustamento livre, verificou-se uma sensível melhora a saber:

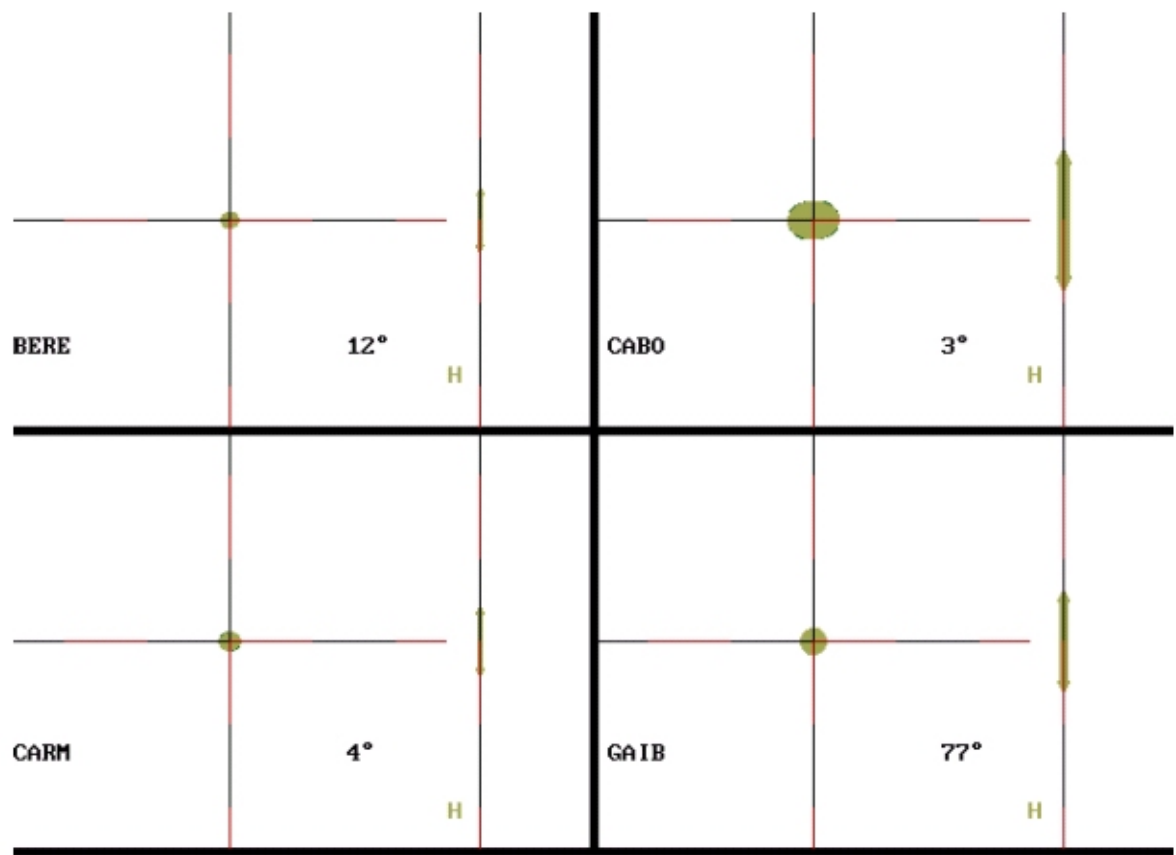
- Todas as precisões das linhas de base ficaram superior a 1/118.000;
- As precisões das linhas de base que ficaram entre 1/100.000 e 1/500.000, ficaram com 8,3% das linhas de base;
- Entre 1/500.000 e 1/1.000.000 ficaram com 27,8% das linhas de base;
- A grande maioria, 63,9% das linhas de base ficaram com precisão acima de 1/1.000.000, atingindo até a precisão 1/4.155.998;

c) Elipses dos erros do ajustamento

Apresenta-se a seguir os gráficos das elipses de erros do ajustamento da rede implantada em 2003, advindas do software GPSurvey (com RBMC-RECF fixa).



HORIZONTAL AND VERTICAL ERROR (1.00σ) PRESS ANY KEY BAR SCALE TICK = 0.1m



HORIZONTAL AND VERTICAL ERROR (1.00σ) PRESS ANY KEY BAR SCALE TICK = 0.1m

4. DETERMINAÇÃO DAS DISTORÇÕES DO SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA

4.1 Introdução

O presente capítulo foi elaborado de acordo com as informações obtidas na revisão bibliográfica e com as análises dos resultados, realizados na RGR da RMR em três etapas, que permitiram resultados na comparação de coordenadas. Estas análises possibilitam um diagnóstico da situação das prováveis distorções dessa rede.

A Agência Estadual de Planejamento e Pesquisa CONDEPE/FIDEM, órgão responsável pelo controle e uso do solo é que disciplina e especifica o uso do sistema cartográfico na RMR. O controle do uso do solo é realizado nas ortofotocartas escalas 1: 10.000, 1: 2.000 e nas plantas topográficas cadastrais escala 1: 1.000. A plotagem dos projetos dos usuários também é feita nesse mesmo sistema cartográfico, objeto do estudo. Os questionamentos advindos de usuários para eventuais distorções encontradas, sempre superiores às tolerâncias admitidas, motivou a elaboração deste trabalho para uma cuidadosa análise do problema e encaminhamento de soluções. O maior volume de reclamações decorre de usuários da tecnologia GPS, sobretudo no uso das plantas topográficas do projeto UNIBASE e ortofotocartas.

O resultado desse diagnóstico abrange uma apresentação das fases e processos realizados, expostos de forma seqüencial:

- a) identificação das distorções nas cartas (análise cartográfica) elaboradas em diferentes épocas, a partir de um mesmo campo de pontos;
- b) um estudo comparativo do sistema de referência da RGR, a partir de um mesmo campo de pontos de apoio geodésico, obtidos por poligonação clássica, utilizados para a realização das ortofotocartas executadas em 1973, e plantas topográficas cadastrais, em 1984 e 1997 da RMR;
- c) uma análise da RGR, realizada a partir de posicionamento GPS, em épocas distintas (1997 e 2003), como discutido no item 4.4.

Para as análises e comparação, nos três itens acima citados, foi empregada uma transformação de similaridade de Helmert entre os dois sistemas de coordenadas formados (3.3).

No decorrer deste capítulo, são discutidos ainda os principais aspectos do método proposto, bem como todas as etapas realizadas para as transformações de coordenadas.

4.2 Análise das Distorções entre os Sistemas Cartográficos em Duas Épocas

O estudo das distorções na Rede Geodésica de Referência da RMR torna-se relevante e objetivo, por apresentar aos usuários dos sistemas cartográficos parâmetros de conversão que possam corrigir eventuais distorções detectadas entre estes sistemas

4.2.1 Área de Trabalho e Planejamento

Para estudo dessas distorções foram utilizados dois produtos cartográficos distintos da RMR:

- No primeiro produto cartográfico, foram identificados 34 pontos, distribuídos em 17 folhas das ortofotocartas implantadas segundo o projeto SACS-Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul-nº 291 etapas A, B e C (levantamento fotogramétrico plani-altimétrico na escala 1/ 2.000 e 1/10. 000), oriundas do Sistema de Referência Geodésico implantado nos anos de 1973 e 1975, utilizando-se o Datum Córrego Alegre e o elipsóide internacional de referência de Hayford (2.3.1). Considerando que a área coberta cartograficamente com ortofotocartas é de 942km², tem-se uma densidade de 27,7 km² por ponto.

- No segundo campo, foram identificados os mesmos 34 pontos, obtidos em 25 folhas da Carta (Plantas Topográficas Cadastrais), originárias do Projeto UNIBASE, elaborado pela antiga Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife (levantamento planimétrico na escala 1/1. 000), referenciadas ao Sistema Geodésico de Referência implantado nos anos de 1984, 1997 e 1998, utilizando-se o Datum SAD-69 e o elipsóide internacional de referência de 1967 (2.3.2).

Considerando que área coberta cartograficamente com as plantas topográficas cadastrais é de 600 km², tem-se uma densidade de 17,7 km² por ponto.

A escolha dos campos de pontos foi realizada segundo o critério da distribuição espacial, de modo que melhor traduzisse a área estudada e bem identificasse os pontos em ambos os produtos cartográficos utilizados.

4.2.2 Obtenção dos Pontos Homólogos nos dois Sistemas

Os pontos homólogos nos dois documentos cartográficos foram obtidos como descritos no item 4.2.1, em que foram utilizadas diferentes tecnologias, para os aerolevantamentos, como discriminadas a seguir:

- no primeiro caso, a partir das ortofotocartas de 1973, foi adotada a técnica da digitalização em mesa digitalizadora tamanho A0 da ABNT, marca DIGICON. As coordenadas só foram aceitas quando os parâmetros de orientação desses resultados eram menores que $\pm 0,2\text{mm}$, o que na escala das ortofotocartas 1:2.000 corresponde a $\pm 0,40\text{m}$. Vale salientar que a mesa digitalizadora não foi aferida antes da realização desse evento, no entanto não se dispunha de outros recursos para digitalização;

- no segundo caso, a partir das plantas topográficas cadastrais de 1998, as quais já estavam em meio magnético, as coordenadas foram obtidas a partir deste arquivo magnético, identificando-se os pontos na tela da estação gráfica.

Vale salientar aqui que esses dois produtos cartográficos são oriundos de diferentes tecnologias utilizadas para as suas execuções; a tecnologia de elaboração de ortofotocartas é diferente da tecnologia de confecção de plantas topográficas cadastrais com restituição analógica e digital.

No entanto, ambos os produtos atenderam aos critérios de qualidade cartográfica previstos pela ABNT (FIDEM 2002).

A figura 11 mostra a distribuição das cartas e ortofotocartas na RMR, onde podemos concluir que a distribuição em termos espaciais está coerente com a execução da cartografia no perímetro urbano.

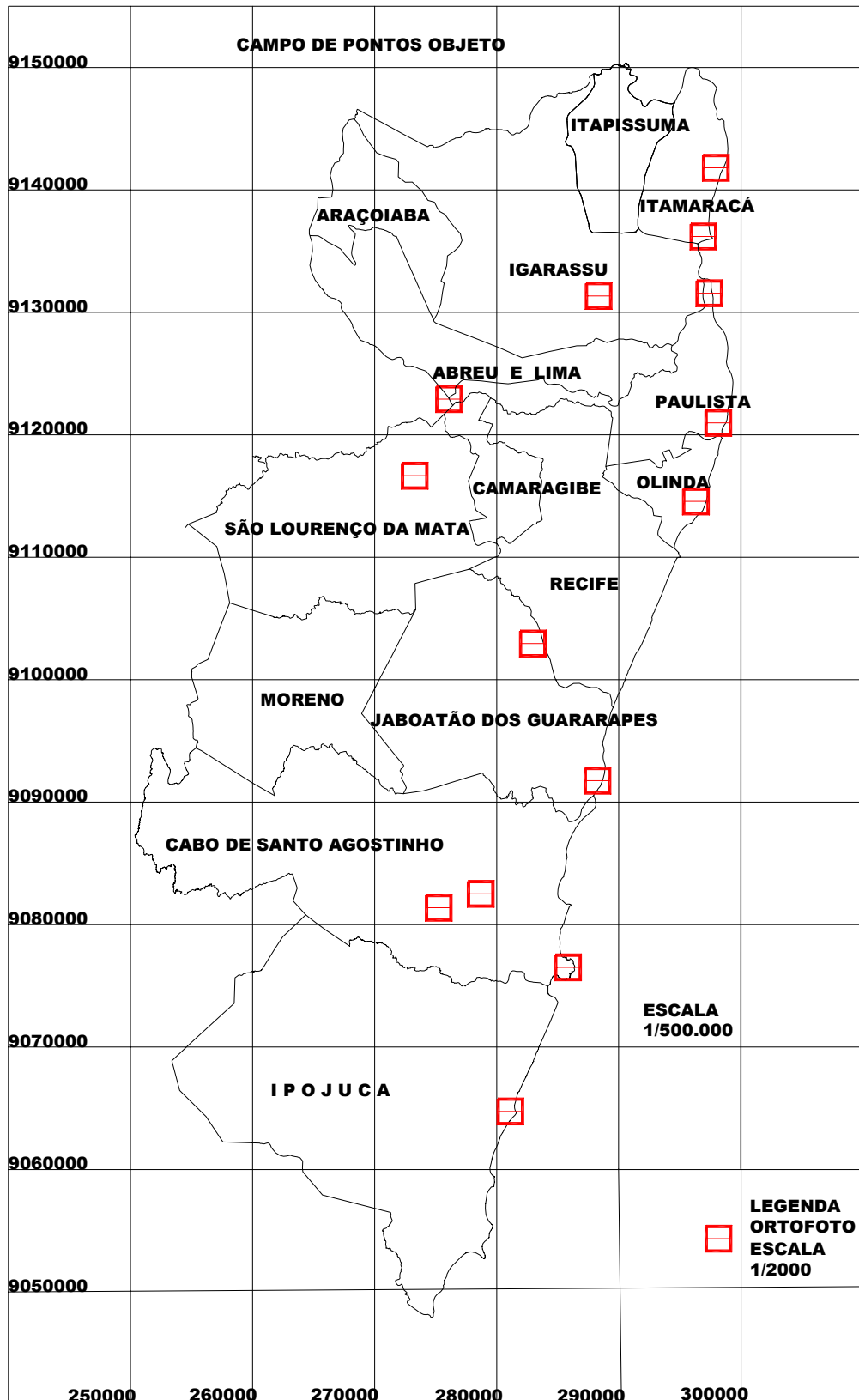


Figura 11: Localização dos Pontos das Cartas e Ortofotacartas.

4.2.3 Determinação dos Parâmetros de Transformação

Nas coordenadas dos campos de pontos homólogos, obtidos a partir do sistema cartográfico nas duas épocas distintas, foi empregado o modelo matemático de transformação de similaridade de Helmert (KAHMEN et FAIG 1988), para a determinação dos parâmetros de transformação entre esses dois sistemas (3.3). Foram utilizados dois procedimentos:

a) uma transformação de similaridade entre o campo de pontos das ortofotocartas, transformados para o sistema SAD-69, e o campo de pontos das plantas topográficas cadastrais, também definidos no sistema SAD-69.

b) uma transformação de similaridade entre o campo de pontos das ortofotocartas, que estão no sistema geodésico de Córrego Alegre, e o campo de pontos das plantas topográficas cadastrais, que estão no sistema SAD-69;

No caso do procedimento “a”, as coordenadas dos 34 pontos relativas aos dois sistemas cartográficos das ortofotocartas, expressas em coordenadas UTM, no elipsóide de Hayford e datum Córrego Alegre, foram anteriormente transformadas para o sistema geodésico SAD-69. Com isso, os dois campos de ponto, tiveram suas coordenadas expressas no datum SAD-69. Para transformação entre os sistemas geodésicos foi utilizado o programa GT-87, disponibilizado ao DECart/UFPE pela 3ª Divisão de Levantamento da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército.

Com as coordenadas dos dois campos de pontos homólogos, foi executada a transformação de similaridade de Helmert, descrito no item 3.3, obtendo-se os parâmetros de conversão entre os dois sistemas.

No quadro 16, as coordenadas indicadas como SAD-69 (1984) e SAD-69 (1973) são, respectivamente, oriundas da planta topográfica cadastral em meio digital e da digitalização das ortofotocartas.

Quadro 16: Pontos homólogos das cartas e ortofotocartas no sistema SAD-69 e o resultado da transformação de similaridade de Helmert.

TRANSFORMAÇÃO DE SIMILARIDADE DE HELMERT								
Ponto	SAD-69 (1984)		SAD-69 (1973)		RESÍDUOS		DISCREPÂNCIAS	
	x	y	ϵ	η	dx _i	dy _i	D _{xi}	D _{yi}
6	297852,000	9131639,900	297846,870	9131644,124	0,205	2,262	5,130	-4,224
2	298437,000	9142393,800	298432,870	9142398,093	1,364	2,479	4,130	-4,293
3	298613,080	9142352,600	298608,458	9142357,494	0,874	3,077	4,622	-4,894
4	297225,850	9136225,750	297220,123	9136226,482	-0,337	-1,155	5,727	-0,732
5	297270,350	9136297,560	297264,680	9136299,065	-0,278	-0,381	5,670	-1,505
8	287774,260	9131906,324	287768,292	9131909,639	-0,776	1,498	5,968	-3,315
11	298730,000	9121078,500	298722,866	9121081,153	-1,933	0,526	7,134	-2,653
12	298789,471	9121495,452	298783,423	9121500,148	-0,841	2,574	6,048	-4,696
13	296898,000	9114223,000	296893,870	9114225,172	0,948	-0,030	4,130	-2,172
14	296819,550	9114387,290	296816,475	9114388,575	2,005	-0,913	3,075	-1,285
15	296597,000	9114721,500	296590,671	9114723,071	-1,248	-0,619	6,329	-1,571
16	296681,200	9114927,290	296678,004	9114930,076	1,889	0,598	3,196	-2,786
17	296530,080	9115099,060	296523,979	9115100,875	-1,016	-0,369	6,101	-1,815
18	296906,140	9115151,700	296900,609	9115154,374	-0,439	0,486	5,531	-2,674
19	277172,630	9120315,065	277165,238	9120314,934	-2,515	-1,969	7,392	0,131
20	277314,400	9120255,800	277308,725	9120255,159	-0,797	-2,482	5,675	0,641
21	277349,930	9120640,540	277343,704	9120640,645	-1,342	-1,731	6,226	-0,105
22	277845,300	9120530,590	277841,440	9120530,067	1,030	-2,367	3,860	0,523
24	273900,392	9116431,414	273895,740	9116433,638	0,123	0,375	4,652	-2,224
25	273458,579	9116415,037	273454,284	9116416,525	0,474	-0,355	4,295	-1,488
26	282179,060	9103361,060	282172,729	9103363,300	-1,618	0,085	6,331	-2,240
28	282190,487	9103913,307	282184,089	9103916,509	-1,677	1,055	6,398	-3,202
31	287858,440	9092352,700	287853,892	9092354,234	0,094	-0,860	4,548	-1,534
32	287925,000	9092686,800	287920,892	9092688,233	0,540	-0,957	4,108	-1,433
33	268385,200	9102486,600	268382,463	9102489,117	1,764	0,542	2,737	-2,517
34	268448,780	9102517,630	268446,717	9102520,335	2,439	0,729	2,063	-2,705
35	268531,000	9102168,600	268528,947	9102171,210	2,446	0,628	2,053	-2,610
36	274772,237	9083329,949	274768,029	9083333,056	0,118	0,764	4,208	-3,107
37	274789,596	9083259,716	274785,056	9083262,662	-0,214	0,602	4,540	-2,946
38	277193,140	9083493,640	277189,088	9083496,256	0,312	0,242	4,052	-2,616
39	277138,030	9083665,440	277133,201	9083669,185	-0,463	1,374	4,829	-3,745
41	285449,730	9076378,020	285446,613	9076377,642	1,268	-2,971	3,117	0,378
42	281362,357	9064681,833	281356,993	9064682,587	-1,202	-1,951	5,364	-0,754
43	281524,074	9064669,987	281518,719	9064671,912	-1,191	-0,783	5,355	-1,925
						MÉDIA	4,841	-2,12
Pontos	Fator de escala	Coef. De rotação		Distorção 5,28m	DESVIO PADRÃO 0,553 m		Coef. De translação	
34	1,00001452	0. 00'03,2616"					X0= 3,942m	Y0= -1,759 m
Fonte:FIDEM 2003			Elaboração:Paulo Carvalho					

Os 4 parâmetros de transformação obtidos no procedimento a, foram:

- ângulo de rotação: 0° 00' 03,2616",
- fator de escala: 1,00001452
- translação: $\Delta X = 3,942 \pm 0,553$ m e $\Delta Y = -1,759 \pm 0,553$ m

Estes resultados, expressos na forma de parâmetros podem ser utilizados pelos usuários do sistema cartográfico, como meio de contornar as distorções do sistema de referência, reclamadas pelos mesmos.

Vale acrescentar, no entanto que sistemas de coordenadas onde os eixos se apresentam com rotação próxima a zero, e fatores de escala próxima a um, quase sempre, conduzem a sistemas mal condicionados. Segundo GEMAEL (1994) “a conversão, nos computadores, do sistema decimal para o binário e vice-versa, pode gerar erros em si insignificantes, mas cuja dilatação, através do mal condicionamento, poderá comprometer seriamente a solução de certos problemas”.

O acima aludido foi verificado nos processos matemáticos realizados no presente trabalho, fazendo uso dos programas aplicativos, desenvolvidos em planilha Excel, e no programa Adjust, programa didático livre desenvolvido por WOLF et GHILLANI (1997), citado no item 3.3, apresentando valores da ordem de -143,0m no eixo este, e de +2,3m no eixo norte.

O problema do mal condicionamento foi resolvido através de um artifício de translação nos dois sistemas dessas coordenadas de um valor constante. O mal condicionamento é resultante, nesta transformação de coordenadas UTM, pela existência de grandes valores de distância e/ou ângulos de rotação muito pequeno.

A equação de transformação, após a eliminação do mal condicionamento para obtenção de novas coordenadas corrigidas das discrepâncias foi:

$$X = (q \cdot \cos \varphi) \varepsilon - (q \cdot \sin \varphi) \eta + X_0$$

$$Y = (q \cdot \sin \varphi) \varepsilon - (q \cdot \cos \varphi) \eta + Y_0$$

onde os 4 parâmetros de transformação constam do quadro 16.

No caso do procedimento “b”, os usuários das ortofotocartas, que encontram-se no sistema Córrego Alegre, como já citado anteriormente, podem utilizar esses parâmetros locais diretamente para corrigir as distorções encontradas. As coordenadas dos 34 pontos relativas aos dois sistemas cartográficos distintos expressas em coordenadas UTM foram transformadas (transformação de similaridade de Helmert), do sistema Córrego Alegre para o SAD-69.

Nas ortofotocartas encontram-se as representações do relevo, por curvas de nível, da área urbana da RMR, que são utilizadas pelos usuários nas plantas topográficas cadastrais, as quais são planimétricas e estão no sistema SAD-69. Verifica-

se com isso que alguns usuários estão trabalhando em sistemas de referência distintos e, portanto com distorções passíveis de correção.

No caso do procedimento “b”, os usuários das ortofotocartas, que encontram-se no sistema Córrego Alegre, como já citado anteriormente, podem utilizar esses parâmetros locais diretamente para corrigir as distorções encontradas. As coordenadas dos 34 pontos relativas aos dois sistemas cartográficos distintos expressas em coordenadas UTM foram transformadas (transformação de similaridade de Helmert), do sistema Córrego Alegre para o SAD-69.

Nas ortofotocartas encontram-se as representações do relevo, por curvas de nível, da área urbana da RMR, que são utilizadas pelos usuários nas plantas topográficas cadastrais, as quais são planimétricas e estão no sistema SAD-69. Verifica-se com isso que alguns usuários estão trabalhando com as distorções reclamadas.

Aplicando-se a transformação de similaridade às coordenadas dos 34 pontos homólogos, expressas no sistema SAD-69 e Córrego Alegre, adotando-se o procedimento “b”, obteve-se os seguintes parâmetros de transformação:

- ângulo de rotação: $0^{\circ} 00' 03,2616''$
- fator de escala: 1,00001452
- translação: $\Delta X = 65,923 \pm 0,934$ m e $\Delta Y = -36,701 \pm 0,934$ m.

4.2.4 Resultados e Discussões

Os resultados obtidos nesta 1ª etapa das análises, a partir dos parâmetros da transformação de similaridade, nas duas épocas estudadas, 1973 e 1984 (ou 1997) confirmaram as distorções identificadas por usuários, embora saiba-se que foram utilizados documentos cartográficos, executados com distintos instrumentos e métodos.

Conforme se observa no quadro 16 e figura 12, os vetores resultantes das discrepâncias nos eixos este e norte são da ordem de 5,28m, tomando o mesmo sentido SE (sudeste). O sentido destes vetores obedeceu a diferenças tomadas na seguinte ordem: SAD 69 (1997) - SAD 69 (1973).

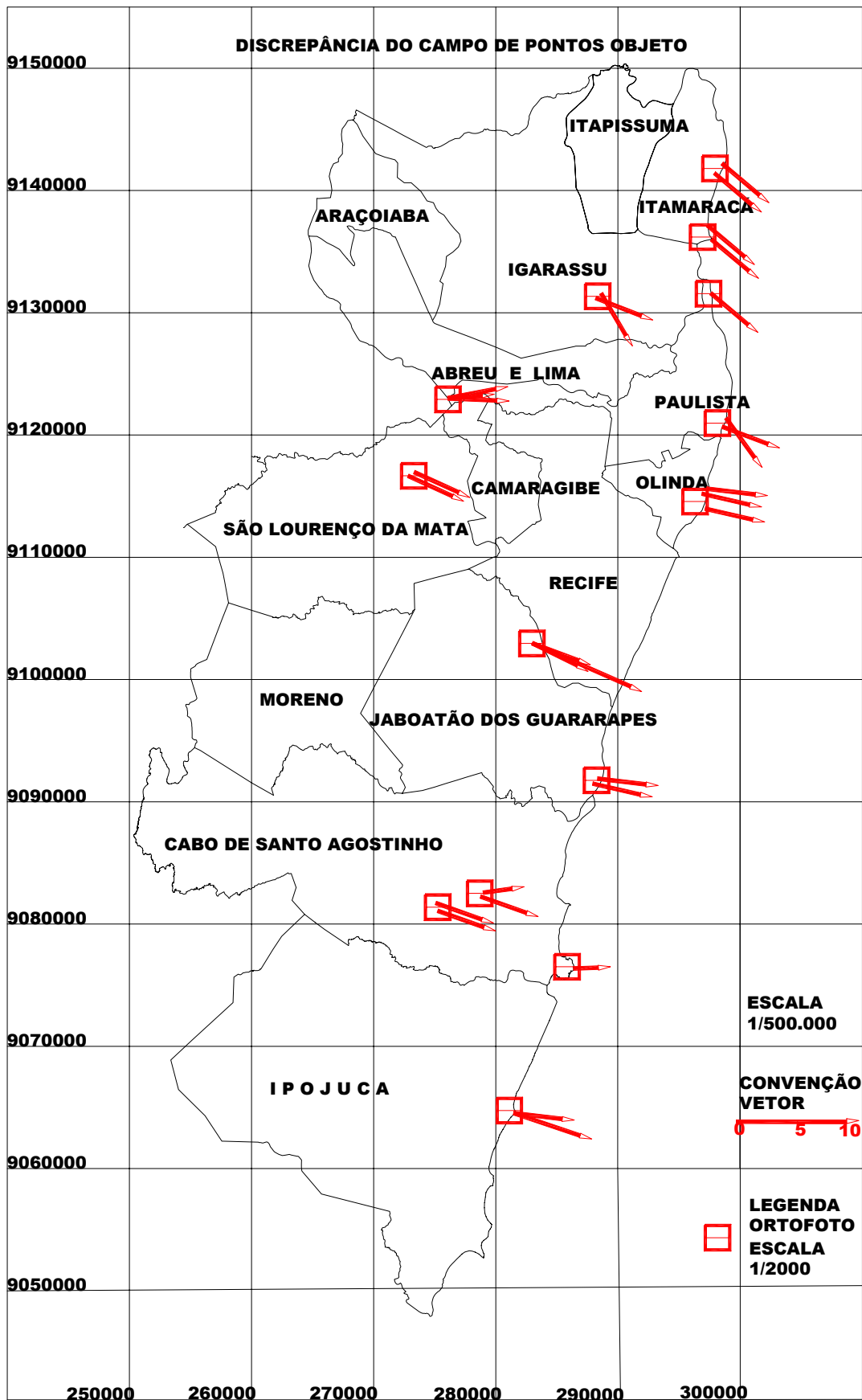


Figura 12: Vetorgrama das discrepâncias nas coordenadas dos pontos homólogos das plantas topográficas e ortofotocartas.

Diante da heterogeneidade de métodos e equipamentos utilizados nas realizações das cartas e ortofotocartas, o procedimento expedito da 1ª etapa dos estudos serviu apenas como um parâmetro norteador para o esclarecimento das distorções encontradas pelos usuários destes produtos cartográficos.

Para analisar os resultados obtidos no procedimento “b”, foram relacionadas as 34 coordenadas planas UTM no sistema SAD-69 e transformadas para o sistema Córrego Alegre com parâmetros oficiais do IBGE. O resultado médio das diferenças entre os dois sistemas foi $\Delta E = 62,89\text{m}$ e $\Delta N = 37,14\text{m}$.

O valores médios dos parâmetros resultantes da transformação de similaridade de Helmert para os 34 pontos homólogos nos dois sistemas SAD-69 e Córrego Alegre, foram $\Delta E = 67,98\text{m}$ e $\Delta N = 34,17\text{m}$. Para a análise, foi realizada a diferença entre os resultados médios obtidos, conforme relatados acima, os quais foram $\Delta E = 5,10\text{m}$ e $\Delta N = -2,96\text{m}$, que tem como vetor resultante a $5,90\text{m}$ no sentido sudeste.

Desta análise se tiram dois resultados: o primeiro é que o usuário com os parâmetros determinados no procedimento “b” podem transformar diretamente das ortofotocartas para as plantas topográficas cadastrais, sem a necessidade de calcular as transformações entre os sistemas geodésicos de referência; o segundo resultado é a confirmação das discrepâncias citadas no procedimento “a”.

4.3 Análise das Distorções entre os Sistemas Geodésicos de Referência em Duas Épocas

O estudo das distorções na Rede Geodésica de Referência da RMR utilizando-se campos de pontos obtidos com maior precisão torna-se mais relevante e objetivo, por apresentar aos usuários dos sistemas cartográficos parâmetros de conversão que possam corrigir distorções detectadas nestes sistemas e conseqüentemente nas cartas e ortofotocartas estudadas no item 4.2.

4.3.1 Área de Trabalho e Planejamento

Para estudo dessas distorções foram utilizados os pontos da RGR na RMR implantados nos anos de 1973 e 1984, formando dois campos de pontos a seguir detalhados:

No primeiro campo de pontos geodésicos, foram utilizados 11 pontos da rede de poligonização principal, rede que serve de apoio aos trabalhos fotogramétricos na RMR. A empresa que implantou esta rede foi a Aerofoto Cruzeiro do Sul-AEROFOTO nos anos de 1973-75. A técnica utilizada foi a poligonização clássica.

Estes pontos formam as poligonais básicas, que tiveram suas coordenadas no datum Córrego Alegre. As coordenadas desses pontos são básicas na aerotriangulação e orientação das ortoprojeções.

A abrangência da área é de $942,0\text{Km}^2$, possui uma rede com 27 pontos, sendo utilizados 11 pontos dessa rede e, portanto tem-se um índice de aproveitamento de 40,7% dos pontos.

No segundo campo de pontos geodésicos, foram utilizados os mesmos 11 pontos deste primeiro campo e a empresa que o implantou foi a Prospecções e Aerelevantamentos SA - PROSPEC nos anos de 1984 e 1985. A técnica utilizada também foi a de poligonização clássica. Estes pontos formam as poligonais básicas, que tiveram suas coordenadas no datum SAD-69. Essas coordenadas serviram para orientação da aerotriangulação e das restituições fotogramétricas. A poligonização foi efetuada pela empresa PROSPEC nos anos de 1984 e 1985.

O critério da escolha para os pontos, foi exclusivamente o de serem pontos homólogos e cujas coordenadas serão submetidas junto com as do primeiro campo de pontos a uma transformação de similaridade.

Para as análises efetuadas na 2ª etapa do estudo, foram utilizados campos de pontos de referência, relativos ao apoio geodésico em épocas distintas (1973 e 1984), implantados por poligonização geodésica clássica. De modo semelhante ao exposto anteriormente, foi também aplicada a transformação de similaridade de Helmert para estes dois campos de pontos. O método aqui proposto, para o estabelecimento destas comparações nestes campos de pontos de referência, não apresenta soluções novas, tendo em vista a repetição do mesmo com a utilização da transformação de similaridade de Helmert, geralmente adotada para estes casos.

4.3.2 Determinação dos Pontos Homólogos

Esta determinação utilizou os pontos homólogos descritos em 4.3.1 que fazem parte da Rede Geodésica de Referência da RMR, cuja localização está mostrada na figura 11.

a) 11 (onze) pontos geodésicos de apoio fotogramétrico, oriundos da poligonização, realizada para elaboração das ortofotocartas nas épocas 1973 até 1975;

b) 11 (onze) pontos geodésicos de apoio fotogramétricos, oriundos da poligonização, realizada para elaboração das plantas topográficas cadastrais preparadas nas épocas 1984 até 1986.

4.3.3 Determinação dos Parâmetros de Transformação

Aplicando-se a transformação de similaridade de Helmert aos pontos homólogos dos dois sistemas discutidos no item 4.3.1, obtém-se os resultados apresentados no quadro 17.

Quadro 17: Parâmetros de transformação entre os campos de pontos geodésicos.

TRANSFORMAÇÃO DE SIMILARIDADE DOS PONTOS GEODÉSICOS								
Pontos	SAD-69 (1997)		SAD-69 (1973)		RESÍDUOS		DISCREPANCIA	
	x	y	X	Y	dx _i	dy _i	Dx _i	Dy _i
V14	291848,729	9103125,020	291.844,053	9.103.128,164	-0,436	-0,592	4,676	-3,144
V15	296143,085	9113797,153	296.138,142	9.113.800,513	-0,241	-0,643	4,943	-3,360
V76	295679,601	9141784,873	295.672,588	9.141.790,196	-1,031	1,152	7,013	-5,323
V75	287885,430	9134534,372	287.878,579	9.134.538,127	-1,150	-0,011	6,851	-3,755
V79	282928,480	9115020,559	282.924,439	9.115.022,992	0,798	-0,971	4,041	-2,433
CONIV.	242545,064	9108945,759	242.540,809	9.108.947,626	0,574	0,351	4,255	-1,867
PED-PEL	259172,480	9096928,421	259.168,141	9.096.930,586	-0,164	-0,033	4,339	-2,165
M31	255146,914	9115552,514	255.142,516	9.115.554,755	0,653	0,105	4,398	-2,241
V37	297598,892	9150455,194	297.591,594	9.150.461,371	-0,927	1,866	7,298	-6,177
PED-SEL	258070,059	9068157,690	258.066,379	9.068.158,336	-0,825	-1,310	3,680	-0,646
M20	261644,321	9114432,095	261.640,238	9.114.433,687	0,871	-0,837	4,083	-1,592
CONCEIÇ	245964,517	9140960,042	245.960,236	9.140.961,916	1,996	-0,011	4,281	-1,874
LAMPIÃO	231715,719	9091505,859	231.711,496	9.091.507,706	-0,119	0,944	4,223	-1,847
Somatório	269718,715	9115015,350	269713,7846	9115018,154			4,930	-2,804
DESVIO PADRÃO		0,901						
TRANSLAÇÃO		X0=	4,093		FATOR DE 0,999993			
		Y0=	0,819					
ROTAÇÃO		Fi=		0'00,000000946"				
Fonte: FIDEM - 2003								
Elaboração: Paulo Carvalho								

Os vetores resultantes das discrepâncias nos eixos X e Y, entre os pontos de apoio utilizados para as realizações das cartas e ortofotocartas, estão mostrados na figura 13. Verifica-se que os vetores resultantes têm a mesma ordem de grandeza e o mesmo sentido dos encontrados no item 4.2.3.

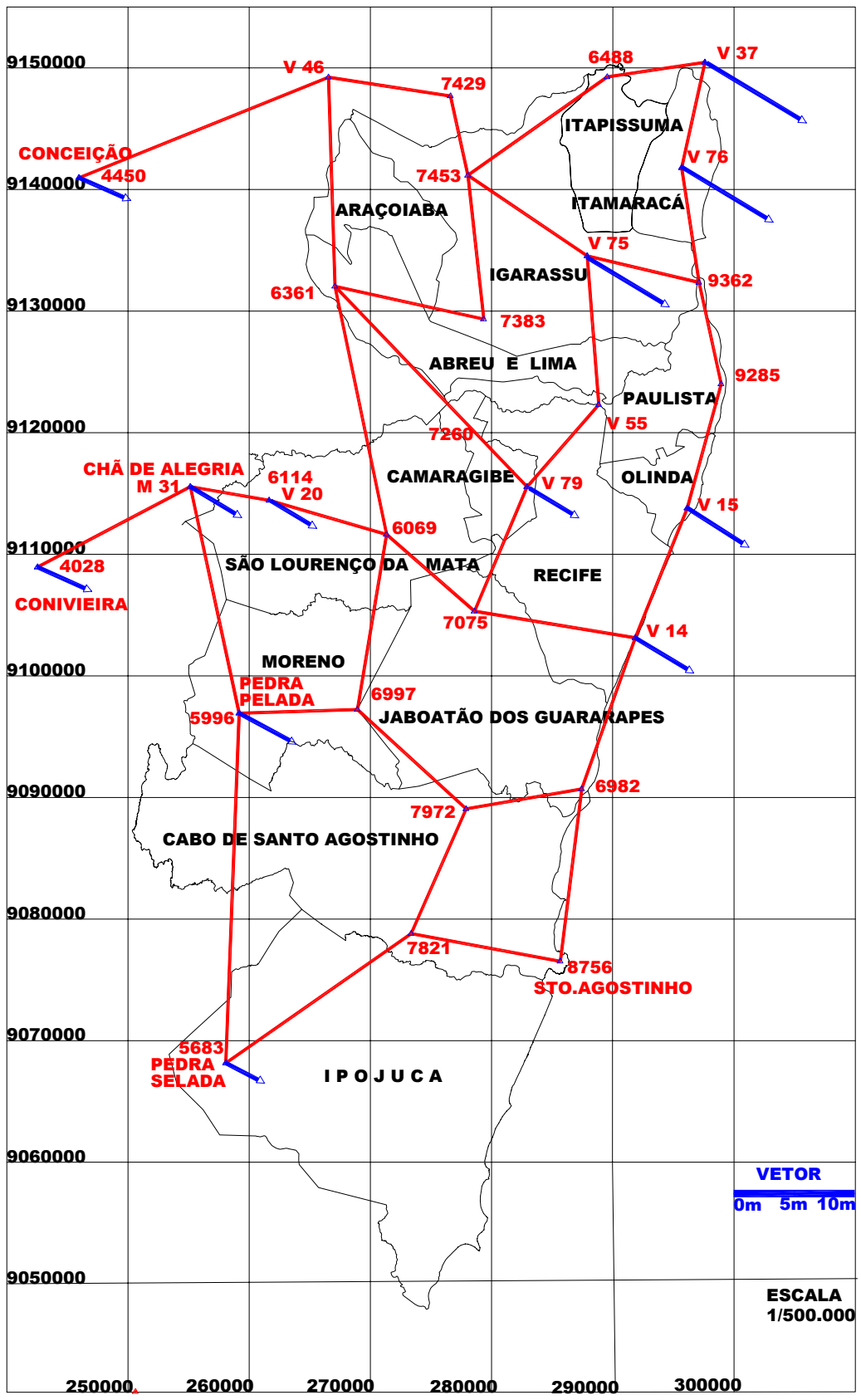


Figura 13: Vetorgrama das discrepâncias nas coordenadas dos pontos do apoio das épocas 1973 e 1984.

Aplicando-se a transformação de similaridade às coordenadas dos 11 pontos homólogos, expressas no sistema SAD-69, e adotando-se o procedimento descrito em 4.2.3, obtiveram-se os seguintes parâmetros de transformação:

- ângulo de rotação: $0^{\circ} 00' 00,0000009''$,
- fator de escala: 0,999993
- translação: $\Delta X = 4,093 \pm 0,901$ m e $\Delta Y = -0,819 \pm 0,901$ m.

4.3.4 Resultados e Discussões

Dos resultados obtidos a partir do quadro 17, e da figura 10, pode-se afirmar que da mesma forma como na 1ª etapa dos estudos, a transformação de similaridade aplicada também conduziu a um sistema mal condicionado. Desta forma, de modo análogo ao obtido para o cálculo do campo de pontos cartográficos, um valor constante foi subtraído das coordenadas dos pontos, resolvendo-se com isso o mau condicionamento.

Em 1988, a RGR também foi analisada através dos resultados de uma campanha GPS com diversos pontos localizados na RMR sobre a RGR, formando uma rede GPS, que foi também ajustada. Os resultados já mostravam uma discrepância de até 40cm em relação à rede clássica, com uma precisão em torno de $\pm 1, 2$ cm (SEEBER 1989). Esse resultado vem confirmar que hoje a precisão da rede clássica é insuficiente para atender às tarefas geodésicas para o desenvolvimento de trabalhos da RMR. A figura 14 mostra a configuração da rede GPS executada pela missão alemã em conjunto com o DECart da UFPE, sobreposta à rede clássica (RGR) da RMR.

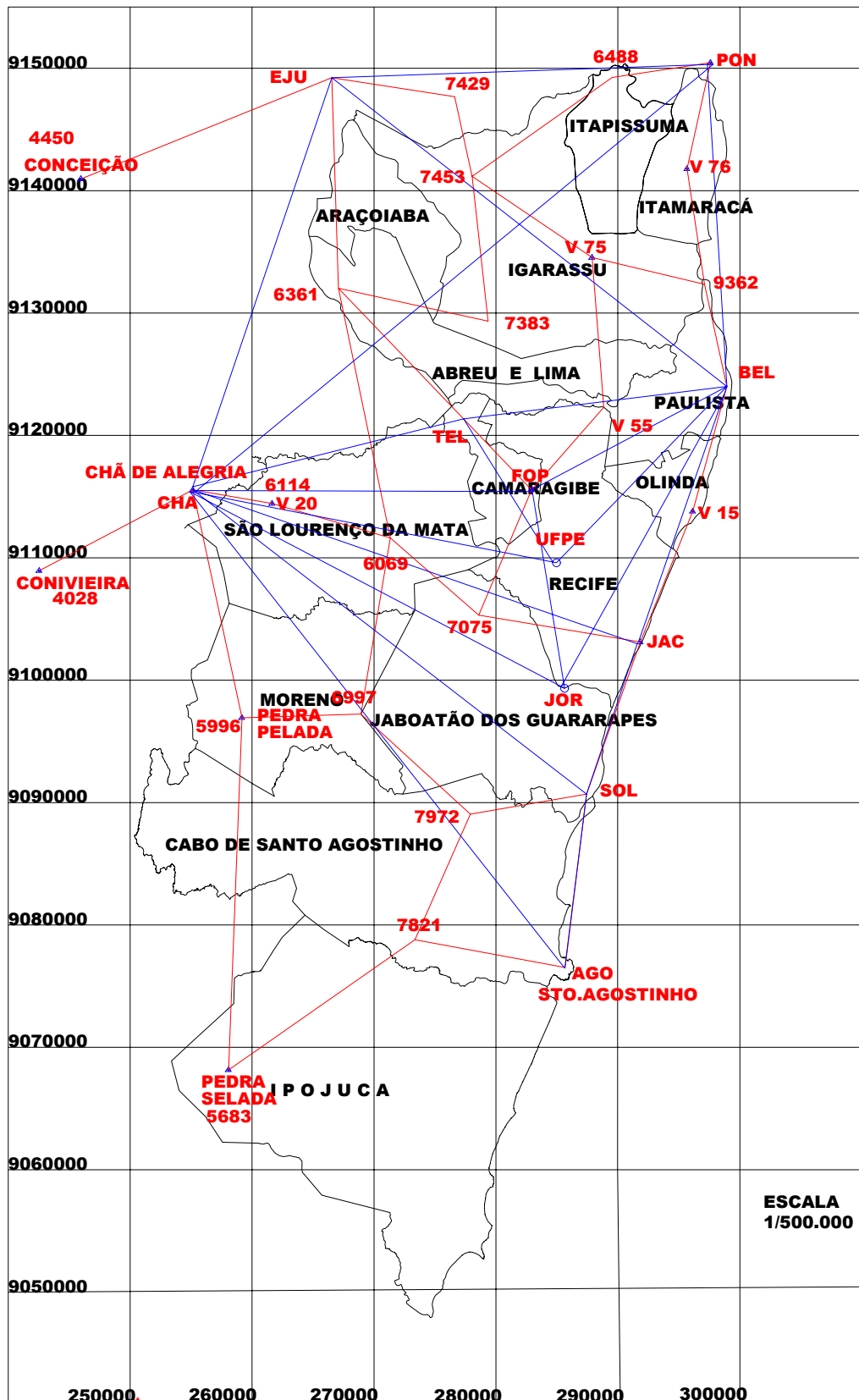


Figura 14: Configuração da Rede GPS executada pela missão alemã em conjunto com o DECart da UFPE sobreposta a RGR da RMR (Fonte: ROMÃO 1995).

4.4 Análise das Distorções entre a RGR - 1997 e a RGR - 2003

O estudo das distorções na Rede Geodésica de Referência da RMR utilizando-se campos de pontos geodésicos obtidos com a tecnologia GPS em época diferentes, 1997 e 2003, e assim obtidos com maior precisão que os campos estudados na segunda etapa. O estudo portanto torna-se mais relevante e objetivo, por apresentar aos usuários dos sistemas cartográficos parâmetros de conversão que possam corrigir distorções detectadas nestes sistemas e conseqüentemente nas cartas e ortofotocartas estudadas nos itens 4.2 e 4.3.

4.4.1 Área de Trabalho e Planejamento

Para o estudo dessas distorções foram utilizados 8 pontos da RGR na RMR, implantados nos anos de 1997, e uma rede GPS local, implantada em 2003 exclusivamente para atender à finalidade de estudar as discrepâncias, abrangendo uma área de 752,0Km².

A empresa PROSPEC S/A utilizou a tecnologia GPS para a implantação da rede. A técnica utilizada foi a de irradiação simples, sem controle, ou seja, a partir de pontos geodésicos sem formar figuras fechadas. O mesmo foi realizado partindo-se da rede clássica implantada em 1984, utilizando-se o datum SAD-69, já comentada no item 4.3, utilizando-se equipamentos com uma frequência (L1), e com uma hora de observação. Esta rede, composta por 27 pontos, serve de apoio aos trabalhos fotogramétricos na RMR, abrangendo uma área de 942,0Km², (área das ortofotocartas).

No segundo campo de pontos geodésicos, foram utilizados os mesmos 8 pontos citados no parágrafo anterior, determinado por GPS, sob a orientação da Prof^a. Dr^a Verônica M^a Costa Romão, do DECart-UFPE. A campanha GPS foi realizada pelos mestrandos participantes do Programa de Pós-Graduação, utilizando-se o método de multi-estação e multi-sessão, com o uso simultâneo de 6 receptores de dupla frequência (L1 e L2), em duas e meia horas de observação. O ajustamento da rede foi realizado fixando-se o ponto RECF-RBMC.

O critério da escolha dos pontos foi baseado na obtenção de uma boa configuração geométrica para a rede geodésica.

4.4.2 Obtenção dos Pontos Homólogos nos Dois Sistemas

Para esta determinação foram utilizados os pontos homólogos descritos em 4.4.1 que fazem parte da Rede Geodésica de Referência da RMR, cuja localização está mostrada na figura 15. Os mesmos compreendem:

a) 8 (oito) pontos geodésicos de apoio fotogramétrico, oriundo da irradiação por GPS, utilizada para realização das plantas topográficas cadastrais nas épocas 1997 até 2001;

b) 8 (oito) pontos geodésicos da rede implantada no ano de 2003.

4.4.3 Determinação dos Parâmetros de Transformação

Aplicando-se a transformação de similaridade de Helmert aos pontos homólogos dos dois sistemas discutidos no item 4.4.1, obtém-se os resultados apresentados no quadro 19.

Quadro 19 : Pontos homólogos das redes GPS e o resultado da transformação de similaridade.

TRANSFORMAÇÕES DE SIMILARIDADE DE HELMERT								
Ponto	SAD-69 (2003)		SAD-69 (1997)		RESÍDUOS		DISCREPÂNCIAS	
	x(m)	y(m)	ϵ (m)	η (m)	dx _i (m)	dy _i (m)	D _{xi}	D _{yi}
BERE	289158,255	9117532,039	289.161,087	9.117.535,415	-0,067	-0,003	-2,832	-3,376
CABO	276751,354	9083104,545	276.753,969	9.083.108,034	-0,178	-0,078	-2,615	-3,489
CARM	296266,599	9113238,688	296.269,424	9.113.242,089	-0,034	0,033	-2,825	-3,401
GAIB	284726,029	9081549,288	284.728,909	9.081.552,922	0,124	0,099	-2,880	-3,634
GERA	289148,659	9102066,478	289.151,511	9.102.069,972	0,019	0,058	-2,852	-3,494
ITAM	298856,259	9143329,887	298.859,376	9.143.333,331	0,140	0,212	-3,117	-3,444
ITAP	290558,601	9140028,274	290.561,530	9.140.031,272	-0,069	-0,285	-2,929	-2,998
JABO	277134,035	9102559,281	277.136,957	9.102.562,751	0,044	-0,017	-2,922	-3,470
Σ	2302599,8	72883408,5	2302622,8	72883435,8	-0,0210	0,0190	-22,972	-27,306
Σ/n	287824,975	9110426,063	287827,85	9110429,475		MÉDIA	-2,8715	-3,41325
Número de pontos	8	DESVIO PADRÃO	0,122(m)	Centro de Rotação		Discrepância		
a=	1,00000386	FATOR DE ESCALA	1,00000386	Xo=	-2,875	Yo=		
o=	-4,5156E-06	Angulo de Rotação	0° 00' 00,000000s		3,412		4,462	
Fonte: FIDEM - 2003								
Elaboração: Paulo Carvalho								

De modo semelhante ao item anterior, ao aplicar a transformação de similaridade às coordenadas dos 8 pontos homólogos, expressas no sistema SAD-69, e adotando-se o procedimento descrito no item 4.3.3, obteve-se os seguintes parâmetros de transformação:

- ângulo de rotação: $0^{\circ} 00' 00,0000009''$,
- fator de escala: 1,000003869
- translação: $\Delta X = 2,875 \pm 0,122$ m e $\Delta Y = -3,412 \pm 0,122$ m.

Os vetores resultantes das discrepâncias nos eixos X e Y, entre os pontos de apoio irradiados e os pontos da rede implantada, estão mostrados na figura 15.

Verifica-se aqui que os vetores resultantes têm a mesma ordem de grandeza dos valores encontrados no item anterior no entanto o sentido passou a ser nordeste (NE).

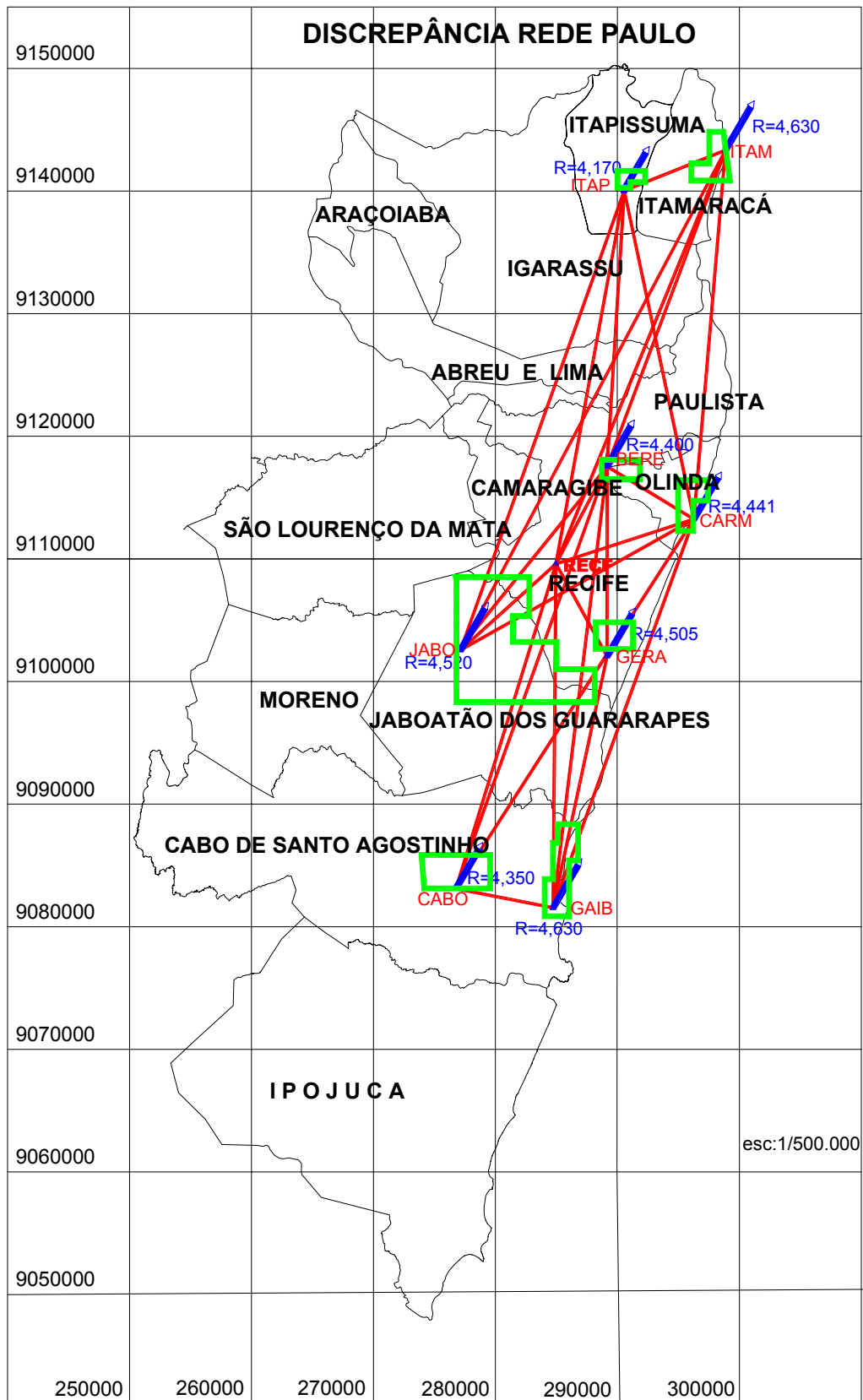


Figura 15 : Vetorgrama das discrepâncias da Rede GPS implantada em 1997 e 2003.

4.4.4 Resultados e Discussões

Dos resultados obtidos, a partir do quadro 18 e da figura 15, pode-se afirmar que da mesma forma como nas 1ª e 2ª etapas dos estudos, a transformação de similaridade aqui aplicada conduziu também a um sistema mal condicionado. Desta forma, de modo análogo ao obtido no cálculo do campo de pontos cartográficos e de apoio geodésico, um valor constante foi subtraído das coordenadas dos pontos, resolvendo-se com isso o mau condicionamento.

Os resultados de aplicação da transformação de similaridade de Helmert na RMR, entre a RGR implantada em 1997 e a rede geodésica implantada em 2003 para as finalidades deste estudo, indicaram distorções entre os dois sistemas do apoio geodésico aos produtos cartográficos, expressas em $\Delta x = -2,875 \pm 0,122$ m, $\Delta y = -3,412 \pm 0,122$ m, $\varphi = 0^{\circ}00'00,00000009''$ e $k = 1,00000386$, como apresentado no item 4.4.3.

4.4.5 Outras Análises à RGR da RMR

a) Estação Centro de Tecnologia da UFPE

Foi executada uma análise em um ponto específico, “a estação geodésica localizada no Centro de Tecnologia da UFPE, denominado de Estação UFPE”. Sabe-se que este vértice está conectado a Rede Nacional GPS, com coordenadas já atualizadas pelo reajustamento executado pelo IBGE, pois este ponto foi utilizado em ajustamento de uma rede internacional, bem como ponto de apoio à execução das cartas topográficas da RMR.

Para que essas coordenadas obtidas da estação UFPE, utilizadas na RGR, não provocassem distorções nas outras coordenadas, devido ao fato mencionado, admitiu-se que ela servisse de base, desde que suas coordenadas fossem referenciadas às coordenadas do sistema da RGR.

Para tal solução, o órgão gerenciador da cartografia admitiu que a obtenção das coordenadas do ponto estação UFPE fossem realizadas como o resultado de irradiamentos GPS simples dos vértices V14 (Boa Viagem) e V15 (Olinda), que são vértices pertencentes a RGR.

A discrepância encontrada nesse trabalho sendo da ordem de 4,57m, embora se saliente o fato de que não houve qualquer ajustamento nessas operações e no quadro 19 mostra-se estas discrepâncias.

Quadro 19 : Discrepância na Estação UFPE.

COORDENADAS PLANAS	ESTAÇÃO UFPE NACIONAL		ESTAÇÃO UFPE FIDEM		DISCREPÂNCIA
UTM SAD 69	N	9109367,801m	N	9109371,125 m	$\Delta N = 3,324 \text{ m}$
	E	284583,727m	E	284586,863 m	$\Delta E = 3,136 \text{ m}$

b) Análise da Precisão dos Irradiamentos em um Bloco

As cartas fotogramétricas “PTC” do Projeto UNIBASE quando da sua execução, para os trabalhos de apoio geodésico, utilizou-se de tecnologia GPS. Com base na RGR e técnica de irradiamento simples sem controle, determinou-se as coordenadas dos pontos de apoio ao redor dos 44 blocos de aerotriangulação. Para que não ficassem dúvidas quanto a precisão final das cartas, fez-se uma comparação em um bloco, determinando-se as coordenadas dos pontos de apoio ao redor do bloco CEASA, utilizando-se o método de poligonação, também com GPS e seguindo-se as mesmas especificações. Com este resultado permitiu-se a adoção do método de irradiamento a ser aplicado nos outros blocos.

Este trabalho realizado, que também permitiu a análise da precisão interna de parte da RGR da RMR (implantada em 1997) e cujos resultados mostram-se no quadro 20. Os resultados da aplicação da transformação de similaridade de Helmert, indicaram a existência de distorções entre os dois métodos (poligonação e irradiamento) expressas em:

$$\Delta X = 0,053 \pm 0,066\text{m} \quad \Delta Y = - 0,052 \pm 0,066\text{m}$$

$$\varphi = 0^\circ 00' 01,0541'' \quad K = 1,00000145$$

Essas distorções provocaram discrepâncias nas coordenadas na ordem de 0,053m em X e -0,052m em Y, cujos vetores resultantes tem média de 0,074m no sentido SE.

Quadro 20 : Discrepâncias do BLOCO CEASA.

BLOCO CEASA								
Ponto	TRAVERSE SAD-69		IRRADIAÇÃO SAD-69		RESIDUOS		DISCREPÂNCIAS	
	x	y	X	Y	dxi	dxi	Dxi	Dyi
CJ-23	285520,644	9099263,266	285520,616	9099263,285	0,011	0,048	0,028	-0,019
CJ-35	281938,879	9099236,429	281938,795	9099236,470	-0,056	0,047	0,084	-0,041
CJ-36	281920,797	9100033,433	281920,754	9100033,561	-0,018	0,136	0,043	-0,128
P1815	280320,698	9103222,711	280320,847	9103222,605	0,149	-0,090	-0,149	0,106
CJ-39	278470,149	9099979,253	278470,038	9099979,242	-0,101	-0,023	0,111	0,011
CJ-41	275780,301	9100104,321	275780,304	9100104,408	0,008	0,067	-0,003	-0,088
JÁ-01	277136,958	9102562,751	277136,944	9102562,751	-0,017	-0,009	0,014	0,000
CJ-45	274991,256	9102947,579	274991,259	9102947,580	-0,013	-0,017	-0,003	-0,001
CJ-13	277033,735	9104980,099	277033,755	9104980,146	0,004	0,051	-0,020	-0,047
CJ-15	275742,841	9105937,847	275742,914	9105937,904	0,048	0,049	-0,073	-0,057
CJ-18	278984,043	9105886,327	278984,019	9105886,327	-0,043	0,015	0,024	0,000
CJ-20	278662,524	9107763,429	278662,498	9107763,424	-0,055	0,008	0,026	0,005
CE-01	280749,409	9108099,984	280749,398	9108099,983	-0,034	0,024	0,011	0,001
CJ-22	280802,332	9107695,796	280802,337	9107695,770	-0,016	0,001	-0,005	0,026
TCE-1	283332,359	9108559,467	283332,293	9108559,397	-0,079	-0,024	0,066	0,070
CJ-26	282894,735	9109820,256	282894,667	9109820,169	-0,093	-0,041	0,068	0,087
CJ-02	285767,767	9108821,310	285767,776	9108821,255	0,000	0,006	-0,009	0,055
CJ-29	285546,105	9102073,190	285546,250	9102073,070	0,175	-0,087	-0,145	0,120
TJA-2	282481,178	9102796,542	282481,287	9102796,418	0,119	-0,102	-0,109	0,124
VA-80	285741,813	9100216,462	285741,738	9100216,409	-0,042	-0,023	0,075	0,053
Pontos	Desvio Padrão		Coef. Translação		Coef. Rotação			
20	0,066 m		xo= 0,053	yo= 0,052	$\alpha= 0^{\circ} 00' 01,0541''$			

4.4.6 Influência do Uso das Coordenadas da RBMC em Levantamentos Aplicados no Sistema Geodésico de Referência da RMR

A obrigatoriedade do georreferenciamento das coordenadas do Sistema Geodésico de Referência ao SGB, pela Lei 10.267:2001 fez aumentar na RMR a procura e uso da estação de monitoramento contínuo do IBGE (RECF-RBMC), localizada em Recife.

Ao se analisar as coordenadas da rede GPS implantada em 2003, a qual foi processada com as coordenadas da RECF-RBMC, consideradas como fixas, encontrou-se os resultados mostrados no item 4.4.3. Essas distorções provocaram discrepâncias nas coordenadas da ordem de - 2,871 m em X e de - 3,8413 m em Y, cujos vetores resultantes tem média de 4,462 m e sentido NE.

Em uma operação inversa, ou seja, fixando-se 3 pontos da rede implantada em 2003, e utilizando-se para os mesmos as coordenadas obtidas dos levantamentos da RGR de 1997, foram encontrados na comparação entre os cinco pontos homólogos restantes os seguintes parâmetros de transformação, conforme se mostra no quadro 21 :

Quadro 21 : Discrepâncias interna da Rede GPS 1997
(rastreamento de 2003 processado com dados de 1997).

DISCREPANCIA REDE 2003 COM COORDENADAS DA FIDEM RGR 1997																																												
Ponto	x	y	ε	h	dxi	dxi	DX	DY																																				
gera	289151,457	9102069,926	289151,511	9102069,972	0,776	0,000	-0,054	-0,046																																				
jabo	277136,918	9102562,788	277136,957	9102562,751	-0,215	0,037	-0,039	0,037																																				
gaib	284728,764	9081552,881	284728,909	9081552,922	-0,286	0,026	-0,145	-0,041																																				
itam	298859,176	9143333,062	298859,376	9143333,331	-0,100	-0,054	-0,200	-0,269																																				
itap	289161,135	9117535,407	289161,087	9117535,415	-0,175	-0,009	0,048	-0,008																																				
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">q=</td> <td style="text-align: center;">X=</td> <td style="text-align: center;">-0,0876</td> <td colspan="3"></td> <td colspan="3" style="text-align: center;">DESVIO PADRÃO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0,999999426</td> <td style="text-align: center;">Y=</td> <td style="text-align: center;">-0,0728</td> <td style="text-align: center;">Fi =</td> <td style="text-align: center;">0° 00'00,64"</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">0,294</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td style="text-align: center;">Xo=</td> <td style="text-align: center;">-0,282</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td style="text-align: center;">Yo=</td> <td style="text-align: center;">0,073</td> <td colspan="5"></td> </tr> </table>									q=	X=	-0,0876				DESVIO PADRÃO			0,999999426	Y=	-0,0728	Fi =	0° 00'00,64"	0,294						Xo=	-0,282								Yo=	0,073					
q=	X=	-0,0876				DESVIO PADRÃO																																						
0,999999426	Y=	-0,0728	Fi =	0° 00'00,64"	0,294																																							
		Xo=	-0,282																																									
		Yo=	0,073																																									

$$\Delta x = -0,282 \pm 0,294m,$$

$$\Delta y = 0,073 \pm 0,294 m,$$

$$\varphi = 0^{\circ}00'00,64'' e$$

$$k = 0,999999426.$$

Essas distorções provocaram discrepâncias nas coordenadas da ordem de 0,09m em X e de -0,071m em Y, cujos vetores resultantes tem média de 0,12m e sentido NE.

Os resultados destas transformações mostram que a precisão interna apresentada nos trabalhos do apoio geodésico da RGR (1984) obedece às técnicas e padrões exigidos no decreto 89.817:1984 do IBGE.

Fazendo-se uma análise entre coordenadas da “estação geodésica localizada no Centro de Tecnologia da UFPE, denominada de “Estação UFPE” e a estação RECF-RBMC tem-se:

- a) No levantamento GPS na base RBMC x UFPE considerado RBMC fixa, verificou-se que existe uma diferença de 0,23m (vetor resultante) entre as coordenadas da RBMC e as coordenadas da rede internacional;
- b) No levantamento GPS na base RBMC x UFPE considerando a UFPE fixa com coordenadas oriundas da RGR (Projeto UNIBASE 1984) encontrou-se as seguintes diferenças: $\Delta E = 3,13m$ e $\Delta N = 3,32m$ diferença na estação RBMC;
- c) No levantamento GPS na rede implantada em 2003, considerando dos 9 pontos da rede, 3 fixos com coordenadas da RGR (PROJETO UNIBASE 1997),

encontrou-se as seguintes diferenças: $\Delta E = 2,87\text{m}$ e $\Delta N = 3,41\text{m}$ diferença na estação RBMC;

Conclui-se que dos resultados obtidos nos sub-itens b e c acima, as diferenças na estação RBMC mostram os seguintes valores:

$$\Delta E = 3,13\text{m}$$

$$\Delta N = 3,32\text{m}$$

$$\underline{-\Delta E = 2,87\text{m}}$$

$$\underline{-\Delta N = 3,41\text{m}}$$

$$\Delta = 0,26\text{m}$$

$$\Delta = 0,09\text{m}$$

que produz um vetor resultante de $0,27\text{m}$, corroborando com o resultado cálculo indicado em "a" igual a $0,23\text{m} + 0,04\text{m}$.

Pode-se afirmar que as coordenadas da estação da UFPE apresentam uma distorção de $0,23\text{m}$ em relação às coordenadas da RBMC.

5.0 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Na presente pesquisa foi realizado um estudo para analisar a Rede Geodésica de Referência (RGR) da Região Metropolitana do Recife (RMR), observando, entre outros fatores, os de natureza histórica, e distorções ocorridas ao longo de sua implantação.

Apresenta-se, além dos resultados e análises destas distorções, procedimentos para implantação de redes geodésicas, que atendam a finalidade de apoiar trabalhos de engenharia e georreferenciar os imóveis rurais segundo a Lei 10267:2001. É importante ressaltar que pesquisas semelhantes, realizadas em outras regiões, constituíram a principal ferramenta para análise de qualidade em redes geodésicas.

5.1 Conclusões

O desenvolvimento dessa pesquisa possibilitou as seguintes conclusões:

1) os resultados da aplicação da transformação de similaridade de Helmert indicaram a existência de distorções, entre os dois sistemas definidores dos produtos cartográficos, ortofotocartas e plantas topográficas cadastrais, expressas em $\Delta x = 3,942 \pm 0,553\text{m}$, $\Delta y = -1,759 \pm 0,553\text{m}$, $\varphi = 0^{\circ}00'03,2616''$ e $k = 1,00001452$, como apresentado no procedimento a) no item 4.2.3.

Essas distorções provocaram discrepâncias nas coordenadas da ordem de 4,841m em X e de -2,120m em Y, cujos vetores resultantes tem média de 5,280 m no sentido SE.

Ao se determinar os parâmetros de transformação entre os dois sistemas, diretamente do sistema Córrego Alegre das ortofotocartas, para o sistema SAD-69, das plantas topográficas, os valores encontrados foram $\Delta x = 65,923 \pm 0,934 \text{ m}$, $\Delta y = -36,701 \pm 0,934\text{m}$, $\varphi = 0^{\circ}00'03,2616''$ e $k = 1,00001452$, conforme o procedimento b) no item 4.2.3.

Ao se avaliar os dois procedimentos, verifica-se que nos parâmetros de transformação do procedimento b), encontram-se os valores das mudanças de Sistemas Córrego Alegre para SAD-69, acrescidos das discrepâncias dos sistemas locais. Com isso, o órgão responsável pela cartografia na RMR, pode adotar os seguintes

valores para corrigir as coordenadas este (E) e norte (N) em seus produtos cartográficos, indicando também na legenda, a existência desses parâmetros de transformação: $E (UNIBASE) = E (ORTOFOTO) + 67,986 \text{ m};$

$$N (UNIBASE) = N (ORTOFOTO) - 34,177 \text{ m},$$

2) de modo semelhante, os resultados da aplicação da transformação de similaridade de Helmert aos pontos geodésicos, indicaram distorções entre os dois sistemas do apoio geodésico para elaboração dos produtos cartográficos referidos no item 5.1 e expressas como $\Delta x = 4,093 \pm 0,901 \text{ m}$, $\Delta y = -0,819 \pm 0,901 \text{ m}$, $\varphi = 0^{\circ}00'00,00000009''$ e $k = 0,999993$, como apresentado no item 4.3.3.

Essas distorções provocaram discrepâncias nas coordenadas da ordem de 4,930 m em X e de -2,804 m em Y, cujos vetores resultantes tem média de 5,672 m e sentido SE, sendo, portanto o mesmo verificado na análise cartográfica.

Os resultados destas transformações mostram que a precisão interna apresentada no trabalho do apoio geodésico da RGR (1984) obedece às técnicas e padrões exigidos no decreto 89817:1984 do IBGE, como visto em 3.4.2, 4.4.3 e 4.4.5.

3) Na análise da 3ª etapa, a aplicação da transformação de similaridade de Helmert, indicou a existência de distorções entre os dois sistemas do apoio geodésico aos produtos cartográficos, expressas como $\Delta x = -2,875 \pm 0,122 \text{ m}$, $\Delta y = -3,412 \pm 0,122 \text{ m}$, $\varphi = 0^{\circ}00'00,00000009''$ e $k = 1,00000386$, como apresentado no item 4.4.3.

Essas distorções provocaram discrepâncias nas coordenadas da ordem de -2,871 m em X e de -3,841 m em Y, cujos vetores resultantes tem média de 4,462 m e sentido NE. Estes valores apresentaram-se diferentes dos verificados nas análises anteriores. Vale acrescentar ainda que estas discrepâncias entre coordenadas referem-se aquelas oriundas da rede implantada em 2003, portanto referidas a estação RECF- RBMC, e as obtidas da RGR de 1997.

Como as coordenadas de RECF-RBMC são oriundas do reajustamento da Rede Brasileira pelo IBGE, e como por razões práticas, fazendo uso de GPS, os usuários da base cartográfica da RMR têm utilizado de forma crescente a estação RECF-RBMC, foi realizado um novo ajustamento da Rede GPS 2003, onde foram

introduzidas as coordenadas desta estação com valores calculados a partir da RGR (1984).

Posteriormente, foi aplicada uma transformação de similaridade entre os novos valores das coordenadas da rede GPS 2003 e as coordenadas da RGR (1997). Os resultados mostraram uma discrepância média da ordem de 12,0 cm no sentido NE. Esse valor deve-se, provavelmente, às diferentes metodologias empregadas, em que, no 1º caso(1997), foram utilizados receptores GPS de uma frequência, menor tempo de observação (1 hora), e processamento de linha de base (irradiamento); enquanto que no 2º caso, além do uso de receptores de 2 frequências e mais tempo de observação (2,5 horas), foi realizado um ajustamento da rede.

Neste caso, os usuários da tecnologia devem aplicar uma correção de 2,871 m em X e 3,436 m em Y, para ter seus pontos referidos ao usuário do sistema da RGR.

5.2 Recomendações

Com base nas análises efetuadas e também nas comparações executadas para elaboração deste trabalho podem ser tiradas as seguintes recomendações:

a) que os Conselhos de Desenvolvimento de Regiões Metropolitanas, utilizando os procedimentos aqui descritos, analisem distorções das suas redes de referências. Esta verificação deve utilizar a tecnologia GPS que além de rápida, permite o georreferenciamento ao SGB através da RBMC;

b) divulgar entre a comunidade de usuários os resultados das experiências desta aplicação de métodos geodésicos, disponibilizando de maneira acessível os parâmetros obtidos nestas transformações de coordenadas;

c) desenvolver pesquisas, em um trabalho conjunto de profissionais de geodésia e de cartografia, para trazer nova contribuição ao estudo das distorções desse sistema de referência nesta rede.

d) os produtos originais (ortofotocartas e plantas topográficas cadastrais) podem continuar sendo utilizados na RMR, no entanto devem ser mencionadas as referências às coordenadas oficiais reajustadas pelo IBGE.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, J. B. **NAVSTAR GPS**: curso de pós-graduação em ciências geodésicas. Curitiba: UFPR, 1990.

ANDRADE, D. F. P. N. **Tópicos de construção de cartas**. Notas de aula. Rio de Janeiro: IME, 1981.

_____. **Fotogrametria básica**. Notas de aula. Rio de Janeiro: IME, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 1994. 35p.

_____. **NBR 14166**: rede de referência cadastral: procedimento. Rio de Janeiro, 1998. 35p.

BRASIL. Congresso. Lei Complementar n.14 de 08 de junho de 1973. Estabelece as regiões metropolitanas de São Paulo Belo Horizonte, Porto Alegre, Recife, Salvador, Curitiba, Belém e Fortaleza. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 11 jun. 1973.

_____. Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984. Estabelece as instruções reguladoras e normas técnicas da cartografia nacional. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, em 22 de jul. 1984.

_____. **Lei 10.267, de 28 de agosto de 2001**. Altera dispositivos das Leis n^{os} 4.947, de 6 de abril de 1966, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 6.739, de 5 de dezembro de 1979, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e dá outras providências. Brasília, DF, 30 out. 2002.

BRITO, J. L. N. S. Proposta de metodologia para a classificação de documentos cartográficos. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 41, p. 27-42, 1987.

CINTRA, J. P. Diretrizes para implantação da Rede Geodésica GPS Nacional. São Paulo: USP, 1997.

_____. **Rede GPS**: parâmetros de classificação. São Paulo: USP, 1997.

DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO DSG. **Manual técnico**: descrição dos sinais geodésicos. Ministério da guerra. Brasília, DF, 1941.

_____. **Manual Técnico**: poligonação eletrônica- T34-401. Ministério da guerra. Brasília, DF, 1976.

FORTES, L. P. S. Implantação da RBMC: estágio atual. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 1995, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro CBC, 1995.

FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA REGIAO METROPOLITANA DO RECIFE. **Região metropolitana do Recife**: Plano de desenvolvimento integrado FIDEM. Recife: FIDEM, 1976. 274 p.

_____. **Relatório das atividades**: FIDEM 1976. Recife: FIDEM, 1976.

_____. **Relatório de atuação da FIDEM**: Setembro. Recife: FIDEM, 1980.

_____. **Relatório das atividades**: FIDEM: 1999-2002. Recife: FIDEM, 2002.

_____. **Sistema de Informações Legislativas-SIL**: CONDEPE-FIDEM, Recife: FIDEM, 2003.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Azimutes, coordenadas, altitudes**: pontos geodésicos de apoio fundamental. Pernambuco: IBGE, 1981.

_____. **Classificação dos levantamentos GPS**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992.

_____. **Sistemas de referência geocêntricos para a América do Sul**: relatório final; grupos de trabalho I e II/IBGE, Departamento de Geodésia. Rio de Janeiro: IBGE, 1997.

_____. **Especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos**: coletânea das normas vigentes. Rio de Janeiro: IBGE, 1998.

_____. **Noções básicas de cartografia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1998.123p.

_____. **Referenciais geodésicos brasileiros**: passado, presente e futuro. Rio de Janeiro: IBGE, 1999.

_____. **Censo demográfico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2000.

GALDINO, C. A. P. M. **Determinação de desníveis dos GPS para aplicações na engenharia através da definição dos parâmetros de um geóide local**. 1996, 86f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1996.

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

KAHMEN, H.; FAIG, Wolfgang. **Surveying**. Berlim: De Gruyter, 1988. 577p. ISBN 3-11-008303-5.

LOCH,C; LAPOLLI, E. M. **Elementos básicos da fotogrametria e sua utilização prática**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994.

LUGNANI, J.B. **Introdução a fototriangulação**. Curitiba: Imprensa Universitária: UFPR, 1987.

MELLO, M. P. Geodésia e cartografia: perspectiva para uma discussão. **Revista Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v.20, n. 119, p. 70-71, 1996.

MONICO, J. F.G. **Posicionamento pelo NASTAR-GPS**: descrição, fundamentos e aplicações. São Paulo: UNESP, 2000.

PERNAMBUCO, Lei n. 6.708 de 03 de junho de 1975. Autoriza o Poder Executivo a instituir a Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife - FIDEM, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco**. Recife, 04 de julho de 1975.

_____. Decreto n. 6.890 de 03 de junho de 1975. Institui a Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife - FIDEM, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco**. Recife, 04 de julho de 1975.

_____. Decreto n. 21.345 de 30 de maio de 1999. Dispõe sobre as atribuições da Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife - FIDEM, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco**. Recife, 31 de maio de 1999.

_____. Lei Complementar n. 49 de 31 de janeiro de 2003. Dispõe sobre as áreas de atuação e estruturas de funcionamento dos órgãos do Poder executivo e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco**. Recife, 03 de janeiro de 2003.

_____. Decreto n. 25.491 de 26 de maio de 2003. Aprova o regulamento da Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco CONDEPE / FIDEM, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco**. Recife, 04 de junho de 2003.

PROSPECÇÕES E AEROLEVANTAMENTOS. **Relatório de conclusão dos serviços**. Recife: PROSPEC, 1988.

PEREIRA, K. P; FAZAN, J. A.; FORTE, L. P. S. **RBMC**: sete anos fornecendo referências e posicionamento GPS no Brasil e exterior In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 21., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Monferrer Produções, 2003. 1CD Rom.

_____. **Método Doppler de posicionamento por satélites NNSS**. 1982. 126p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1982.

ROMÃO, V. M. C. Der Beitrag von GPS zur Bereitstellung des Raumbezugs für Geoinformationssysteme in kartographisch wenig erschlossenen Gebieten, 1995 (Genehmigte Dissertation). Universität Hannover, 1995. 131p. ISSN0174-1454 (ROMÃO 1995).

_____. **Conceitos de geodésia**. Notas de aulas do Mestrado em Ciências Geodésicas. Recife: UFPE, 2002.

ROMÃO, V. M. C.; SILVA, T. F. S. Rede de referência cadastral municipal: uma proposta do grupo de cadastro imobiliário do DECart – UFPE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO MULTIFINALITÁRIO, 2., 1996, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: COBRAC, 1996. v. 2

ROMÃO, V. M. C.; SILVA, T. F. S.; SILVA, A. A Lei 10267 e a norma 14166: procedimento para o geoprocessamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, Nº, 2002, Santa Catarina. **Anais...** Santa Catarina: UFSC, 2002. 1 CD-Rom.

ROMÃO, V. M. C.; SANTOS, A. A.; SEIXAS, A. et al. Metodologia para determinação de subsidência de solo na região metropolitana do Recife. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS. 3., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2003.

SANTOS, A. A. **Realização e análise de rede GPS para o Estado de Pernambuco**. 1996. 70 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

SANTOS, J. L. S. **Implantação de redes geodésicas sub-regionais e locais com o sistema navstar/GPS: metodologia e aplicações**. 1998. 92p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

SEEBER, G. **Verificação de uma rede por GPS: utilizando o TI-4.100 NAVSTAR-NAVIGATOR** (cooperação técnica UFPE, UFPR, Universidade de Hannover), Recife, 1989.

_____. **Satélite geodesy: foundations, methods and applications**. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 1993. 356p.

SEEBER, G; ROMÃO V. M. C. Princípios básicos do GPS nas medições geodésicas. **Geodésia online**, Santa Catarina, n.2, 1997. Trimestral. Disponível em: <<http://geodesia.ufsc.br/geodesia-online/arquivo/AUTORES.HTM>> Acesso em: 10 set. 2003.

SERVIÇOS AEROFOTOGRAFAMÉTRICOS CRUZEIRO DO SUL. **Termos de encerramento dos serviços e especificações.** Recife: 1973. Contrato Projeto n. 291 A, B e C. AEROFOTO 1973.

SILVA, D. C.; QUIRINO, R. C; SOUZA ,C. B. Comparação de especificações e normas de levantamentos GPS In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 21., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Monferrer Produções, 2003. 1CD Rom.

STREIFF, G.G. **Utilização do sistema GPS em levantamento e locação de obras de engenharia.** 1999. 98p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

VASCONCELOS, J.C.P; BLITZKOW, D. Ajustamento de redes geodésicas GPS e de densificação e extensão In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 21., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Monferrer Produções, 2003. 1CD Rom.

WOLF, P. GHILLANI G. Adjustment Computations: Statistics and Least Squares in Surveying and GIS. Ed. John Wiley & Sons, Inc. New York. 1997

ANEXO 1
DADOS DA ESTAÇÃO RECF DA RBMC



0. Formulário

Preparado por - Kátia Duarte Pereira (IBGE - Departamento de Geodésia)
Data - 02-Fevereiro-2000
Alteração - -----

1. Identificação da estação GPS

Nome da Estação - Recife
Ident. da Estação - RECF
Inscrição no Monumento - chapa de metal cravada na face sul, inscrição SAT 93110
Código Internacional - 93110
Informações Adicionais - Esta estação pertence à Rede de Densificação do IGS

2. Informação sobre a localização

Cidade - Recife
Estado - Pernambuco

Informações Adicionais - A estação consiste de um pilar de concreto dotado de dispositivo de centragem forçada, localizado no telhado do prédio da biblioteca, no Campus da Universidade Federal de Pernambuco

Coordenadas oficiais (SAD-69)

Latitude:	-08° 03' 01.98127"	Sigma:	0.0256 m
Longitude:	-34° 57' 04.30178"	Sigma:	0.0257 m
Alt.Elip.:	48.7408 m	Sigma:	0.0280 m
UTM (N):	9109597.730 m		
UTM (E):	284965.491 m		
MC:	- 33		

3. Informações do equipamento GPS

3.1 Receptor

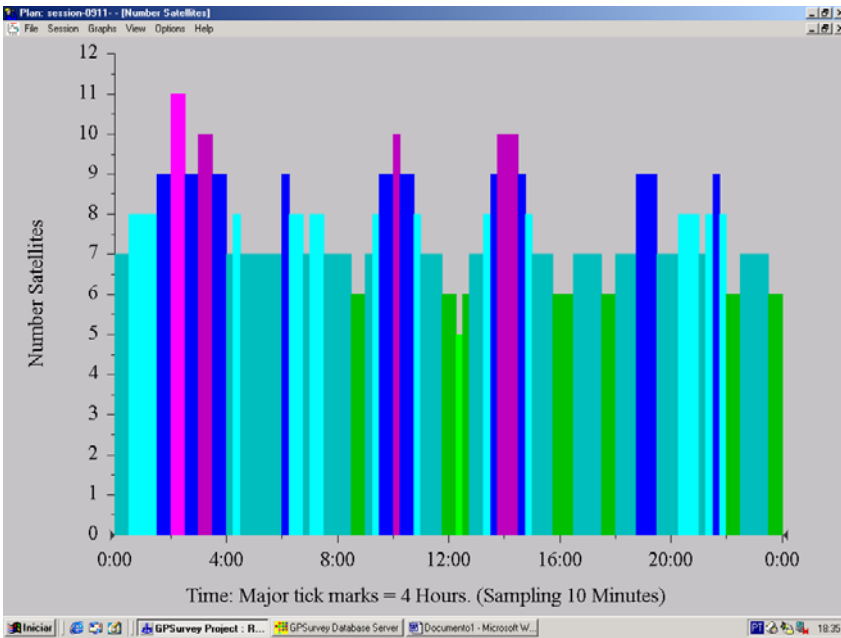
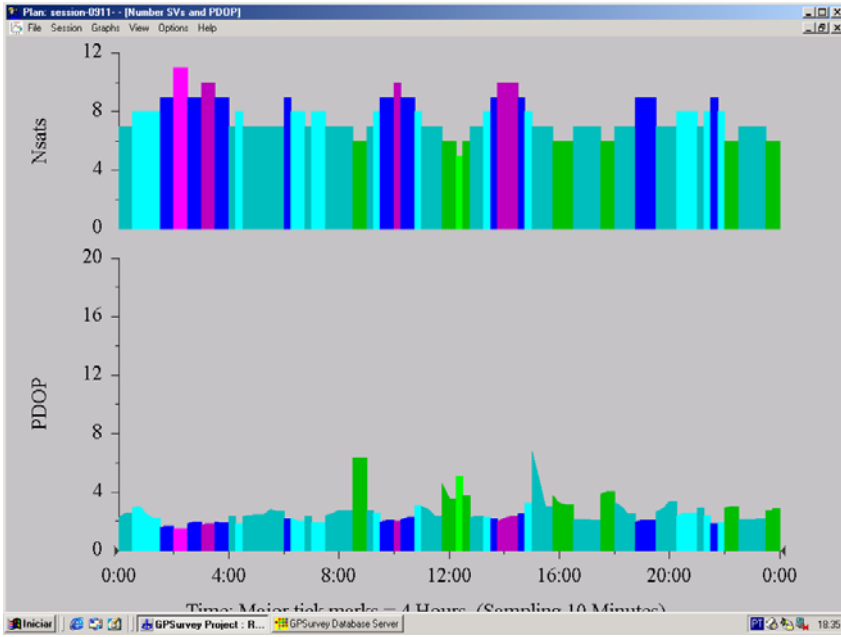
3.1.1 Tipo do Receptor - TRIMBLE 4000SSI
Número de Série - 16740
Versão do Firmware - 7.29
Data de Instalação - 06 - julho - 1999

3.2 Antena

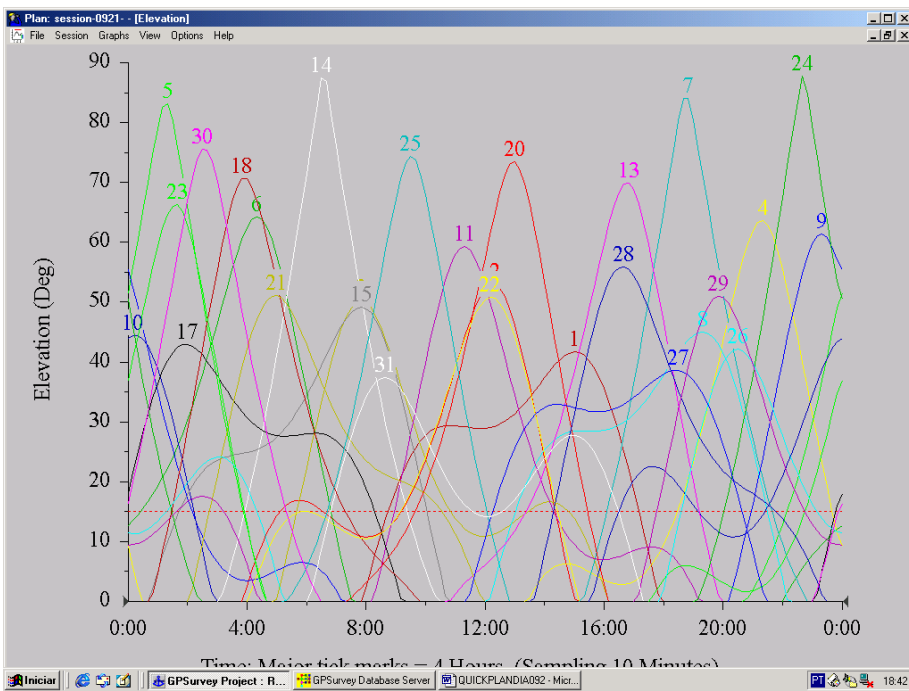
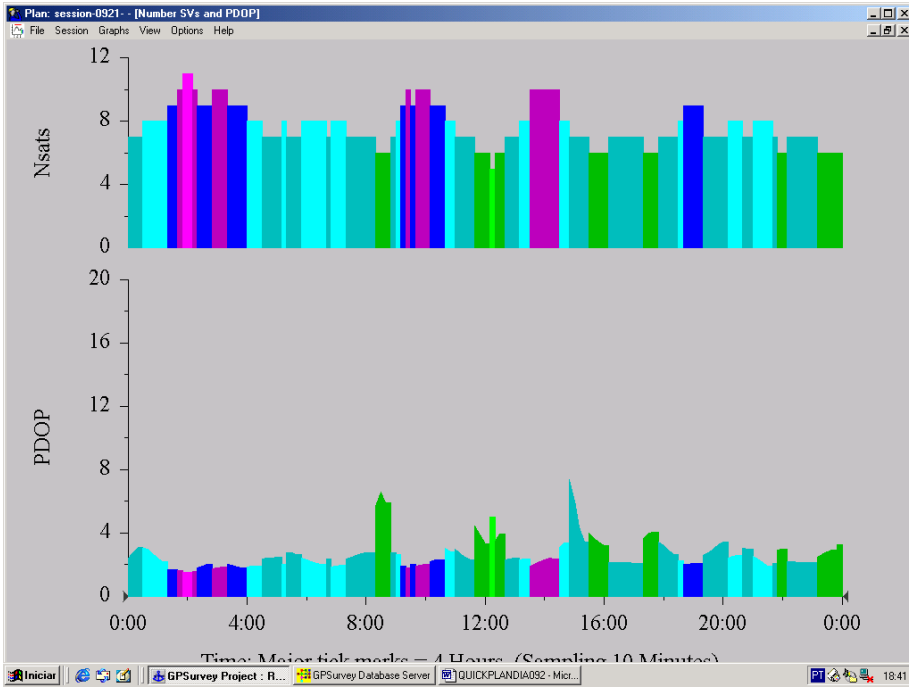
3.2.1 Tipo de Antena: - DORNE MARGOLIN T
Número de Série: - 70175
Altura da Antena (m): - 0.129 m (distância vertical do topo do dispositivo de centragem forçada à base da antena, conforme figura abaixo)
Data de instalação - 06 - julho- 1999

ANEXO 2
ARQUIVOS DO GPSurvey

PLANEJAMENTO DO RASTREIO DIA 091



PLANEJAMENTO DO RASTREIO DIA 092



ANEXO 3
ARQUIVOS Excel

ANÁLISE DAS DISCREPÂNCIAS, DOS RESÍDUOS E DA DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO DE SIMILARIDADE DE HELMERT

Ponto	SAD 69 (1984)		HAYFORD (1973)		Resíduos		Discrepâncias	
	x	y	ε	h	dxi	dji	DX	DY
V14	291848,729	9103125,020	291781,170	9103090,960	-0,547	-0,496	67,559	34,06
V15	296143,085	9113797,153	296075,270	9113763,340	-0,314	-0,617	67,815	33,813
V76	295679,601	9141784,873	295609,710	9141753,100	-0,948	1,061	69,891	31,773
V75	287885,430	9134534,372	287815,680	9134501,010	-1,071	-0,028	69,75	33,362
V79	282928,480	9115020,559	282861,530	9114985,820	0,795	-0,881	66,95	34,739
PED-PEL	259172,480	9096928,421	259105,170	9096893,360	-0,165	0,265	67,31	35,061
M31	255146,914	9115552,514	255079,530	9115517,580	0,772	0,342	67,31	35,061
V37	297598,892	9150455,194	297528,720	9150424,300	-0,81	1,722	67,384	34,934
PED-SEL	258070,059	9068157,690	258003,410	9068121,030	-0,966	-0,881	70,172	30,894
M20	261644,321	9114432,095	261577,270	9114396,510	0,958	-0,627	66,649	36,66
CONCEIÇ	245964,517	9140960,042	245897,220	9140924,810	2,289	0,165	67,051	35,585
n = 11 (número de pontos)								
Fator de Escala	Ângulo de Rotação		Parâmetros de Translação		somatório			
0,999986215	0° 00' 00,000000946"		Xo=65,923	yo=-36,701			680,269	342,053
Xmédio= 67,982	Discrepância= 76,096		DESVIO PADRÃO		Discrepância média			
Ymédio= 34,191			0,934m		67,986 34,177			

Pontos	SAD-69 (1997)		SAD-69 (1973)		RESÍDUOS		DISCREPÂNCIA	
	x	y	X	Y	dxi	dji	Dxi	Dyi
V14	291848,729	9103125,020	291.844,053	9.103.128,164	-0,436	-0,592	4,676	-3,144
V15	296143,085	9113797,153	296.138,142	9.113.800,513	-0,241	-0,643	4,943	-3,360
V76	295679,601	9141784,873	295.672,588	9.141.790,196	-1,031	1,152	7,013	-5,323
V75	287885,430	9134534,372	287.878,579	9.134.538,127	-1,150	-0,011	6,851	-3,755
V79	282928,480	9115020,559	282.924,439	9.115.022,992	0,798	-0,971	4,041	-2,433
CONIV.	242545,064	9108945,759	242.540,809	9.108.947,626	0,574	0,351	4,255	-1,867
PED-PEL	259172,480	9096928,421	259.168,141	9.096.930,586	-0,164	-0,033	4,339	-2,165
M31	255146,914	9115552,514	255.142,516	9.115.554,755	0,653	0,105	4,398	-2,241
V37	297598,892	9150455,194	297.591,594	9.150.461,371	-0,927	1,866	7,298	-6,177
PED-SEL	258070,059	9068157,690	258.066,379	9.068.158,336	-0,825	-1,310	3,680	-0,646
M20	261644,321	9114432,095	261.640,238	9.114.433,687	0,871	-0,837	4,083	-1,592
CONCEIÇ	245964,517	9140960,042	245.960,236	9.140.961,916	1,996	-0,011	4,281	-1,874
LAMPIÃO	231715,719	9091505,859	231.711,496	9.091.507,706	-0,119	0,944	4,223	-1,847
Somatório/r	269718,715	9115015,350	269713,7846	9115018,154			4,930	-2,804
DESVIO PADRÃO	0,901							
TRANSLAÇÃO	X0= 4,093		Y0= 0,819		FATOR DE ESCALA 0,999993			
ROTAÇÃO	Fi= 00,000000946"							
Fonte: FIDEM - 2003								
Elaboração: Paulo Carvalho								

ANEXO 4
ARQUIVOS DO ADJUST

rede-paulo11082003
 Two Dimensional Conformal Coordinate Transformation from file:
 rede-paulo11082003.dat

Survey transformation

$$\begin{aligned} ax - by + Tx &= X + VX \\ bx + ay + Ty &= Y + VY \end{aligned}$$

A matrix		L matrix		
19161.087	-37535.415	1.000	0.000	19158.255
37535.415	19161.087	0.000	1.000	37532.039
6753.969	-3108.034	1.000	0.000	6751.354
3108.034	6753.969	0.000	1.000	3104.545
26269.424	-33242.089	1.000	0.000	26266.599
33242.089	26269.424	0.000	1.000	33238.688
14728.909	-1552.520	1.000	0.000	14726.029
1552.520	14728.909	0.000	1.000	1549.288
19151.511	-22069.972	1.000	0.000	19148.659
22069.972	19151.511	0.000	1.000	22066.478
28859.376	-63333.331	1.000	0.000	28856.259
63333.331	28859.376	0.000	1.000	63329.887
20561.530	-60031.272	1.000	0.000	20558.601
60031.272	20561.530	0.000	1.000	60028.274
7136.957	-22562.751	1.000	0.000	7134.035
22562.751	7136.957	0.000	1.000	22559.281

POINT	X	Y	VX	VY
A	19,158.255	37,532.039	0.068	-0.027
B	6,751.354	3,104.545	0.154	-0.047
C	26,266.599	33,238.688	0.049	-0.077
D	14,726.029	1,549.288	-0.127	0.178
E	19,148.659	22,066.478	-0.017	-0.127
F	28,856.259	63,329.887	-0.120	-0.166
G	20,558.601	60,028.274	0.064	0.319
H	7,134.035	22,559.281	-0.071	-0.053

Transformation Parameters, estimated errors, and t-values

a =	1.00000 ±	0.00000	t-value: 439927.67
b =	0.00000 ±	0.00000	t-value: 1.85
Tx =	-2.764 ±	0.096	t-value: 28.93
Ty =	-3.474 ±	0.096	t-value: 36.36

Rotation = 0°00'00.9"
 Scale = 1.00000

Adjustment's Reference Variance = 8.6391

POINT	X	Y	±Sx	±Sy
RB	16,962.555	45,594.381	0.146	0.146
EE	16,580.791	45,364.450	0.146	0.146

INVERSE MATRIX

0.00000000	-0.00000000	-0.00000001	-0.00000002
-0.00000000	0.00000000	0.00000002	-0.00000001
-0.00000001	0.00000002	0.00105640	-0.00000000
-0.00000002	-0.00000001	-0.00000000	0.00105640

carta-paulo11082003

6785.056	-19262.662	1.000	0.000	6789.596
19262.662	6785.056	0.000	1.000	19259.716
9189.088	-19496.256	1.000	0.000	9193.140
19496.256	9189.088	0.000	1.000	19493.640
9133.201	-19669.185	1.000	0.000	9138.030
19669.185	9133.201	0.000	1.000	19665.440
17446.613	-12377.642	1.000	0.000	17449.730
12377.642	17446.613	0.000	1.000	12378.020
13356.993	-682.587	1.000	0.000	13362.357
682.587	13356.993	0.000	1.000	681.833
13518.719	-671.912	1.000	0.000	13524.074
671.912	13518.719	0.000	1.000	669.987

Transformed Control Points

POINT	X	Y	VX	VY
A	29,852.000	67,639.900	-0.163	-1.853
B	30,437.000	78,393.800	-1.379	-1.909
C	30,613.080	78,352.600	-0.886	-2.506
D	29,225.850	72,225.750	0.342	1.627
E	29,270.350	72,297.560	0.284	0.855
F	19,774.260	67,906.324	0.668	-1.146
G	30,730.000	57,078.500	2.053	-0.267
H	30,789.471	57,495.452	0.959	-2.309
I	28,898.000	50,223.000	-0.814	0.176
J	28,819.550	50,387.290	-1.872	1.062
K	28,597.000	50,721.500	1.375	0.771
L	28,681.200	50,927.290	-1.762	-0.442
M	28,530.080	51,099.060	1.139	0.526
N	28,906.140	51,151.700	0.568	-0.326
O	9,172.630	56,315.065	2.322	2.085
P	9,314.400	56,255.800	0.607	2.598
R	9,349.930	56,640.540	1.150	1.852
S	9,845.300	56,530.590	-1.214	2.490
T	5,900.392	52,431.414	-0.341	-0.337
U	5,458.579	52,415.037	-0.697	0.391
V	14,179.060	39,361.060	1.602	-0.189
W	14,190.487	39,913.307	1.658	-1.151
X	19,858.440	28,352.700	0.041	0.629
Y	19,925.000	28,686.800	-0.406	0.731
Z	385.200	38,486.600	-1.977	-0.743
1	448.780	38,517.630	-2.652	-0.929
2	531.000	38,168.600	-2.655	-0.833
3	6,772.237	19,329.949	-0.121	-1.208
4	6,789.596	19,259.716	0.213	-1.047
5	9,193.140	19,493.640	-0.279	-0.669
6	9,138.030	19,665.440	0.494	-1.799
7	17,449.730	12,378.020	-1.070	2.490
8	13,362.357	681.833	1.410	1.273
9	13,524.074	669.987	1.402	0.106

Transformation Parameters, estimated errors, and t-values

a =	1.00000 ±	0.00001	t-value: 96805.05
b =	-0.00002 ±	0.00001	t-value: 1.94
Tx =	3.942 ±	0.553	t-value: 7.14
Ty =	-1.759 ±	0.553	t-value: 3.18

Rotation = 359°59'55.9"

Scale = 1.00000

Adjustment's Reference Variance = 766.4020

Transformed Points

POINT	X	Y	±Sx	±Sy
Q1	16,970.344	45,595.622	0.747	0.747
Q2	16,584.695	45,319.671	0.744	0.744

INVERSE MATRIX