

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS**  
**E**  
**TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO**

**REJANE MARIA RODRIGUES DE LUNA**

**GEORREFERENCIAMENTO E DETERMINAÇÃO DE LIMITES DE**  
**IMÓVEIS EM ATENDIMENTO A LEI Nº 10.267/2001**

**Dissertação de Mestrado**

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 requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, área de concentração Geodésia Aplicada.

**Orientadora: Profª Drª Andréa Flávia Tenório Carneiro**

Recife  
2004

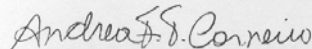
**GEORREFERENCIAMENTO E DETERMINAÇÃO DE  
LIMITES DE IMÓVEIS EM ATENDIMENTO  
À LEI 10.267/2001**

POR

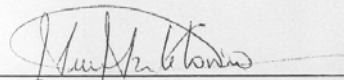
**REJANE MARIA RODRIGUES DE LUNA**

Dissertação defendida e aprovada em 31.08.04.

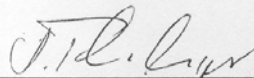
Banca Examinadora:



**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> ANDREA FLÁVIA TENÓRIO CARNEIRO (Orientadora)**  
Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco - UFPE



**Prof. Dr. JOÃO FRANCISCO GALERA MONICO**  
Departamento de Cartografia - Universidade Estadual de São Paulo - UNESP



**Prof. Dr. JÜRGEN WILHELM PHILIPS**  
Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

*Para  
José e Aliete, meus pais e  
Daniel e Silvia Roberta (In Memoriam), meus filhos.*

## *Meus Agradecimentos*

A Deus, por nos dar a permissão de viver;

À Universidade Federal de Pernambuco, que acolheu o projeto de desenvolvimento desta pesquisa;

À prof. Dr<sup>a</sup>. Andréa Flávia Tenório Carneiro, pelo apoio, incentivo e orientação;

Aos componentes da banca examinadora, pela contribuição inestimável através das sugestões para o enriquecimento do trabalho;

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco, pelo apoio e permissão concedida para a realização do curso;

Aos professores que fazem parte do corpo docente da Coordenadoria do Curso de Saneamento Ambiental do Centro Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco, pelos incentivos;

Ao prof. Adeildo Antão dos Santos, pelos proveitosos esclarecimentos e discussões;

Ao prof. Admilson da Penha Pacheco, coordenador do Laboratório de Sensoriamento Remoto do Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco, por ter cedido gentilmente as instalações do laboratório para o desenvolvimento da pesquisa;

À prof. Verônica Maria Costa Romão, pelas sugestões e proveitosas discussões;

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da UFPE, que contribuíram para a realização desse trabalho;

Ao amigo e Engenheiro Cartógrafo Ivan Dornelas, pelo apoio indispensável dedicado ao desenvolvimento da pesquisa;

Ao Centro Acadêmico do Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE, pela permissão da utilização do espaço físico;

Às colegas Edla, Márcia Rejane e Mirele, alunas da graduação do curso de Engenharia Cartográfica da UFPE, pela colaboração no levantamento do Sítio Vale Encantado;

Ao amigo prof. Fernando Botelho, pelo apoio no levantamento realizado no campus da UFPE e ao amigo prof. Paulo Carvalho, pelas valiosas discussões;

Aos amigos Neison, Marny, Silvane e Jorge Cerqueira, pelos agradáveis momentos de convivência durante a realização do curso;

Aos colegas Abdoral, Alberto, Hélio e Pablo, alunos da terceira turma de Pós Graduação do Departamento de Engenharia Cartográfica, pela boa vontade que sempre manifestaram em colaborar;

Ao prof. Daniel Carneiro Silva, pelas proveitosas sugestões e empenho nas correções finais;

Ao amigo e sócio prof. José Risonaldo de Lima, pela compreensão e entendimento da necessidade de mais uma conquista na minha vida profissional;

À minha família, por entenderem a ausência em alguns momentos e pelo empenho nos cuidados dispensados ao meu filho;

Aos meus pais José e Aliete, pelo incentivo ao estudo em todas as etapas da minha vida;

Ao meu filho Daniel, por ser a razão de todo o meu esforço e dedicação.

*A ciência nunca resolve um problema sem criar, ao menos,  
outros dez.*

*George Bernard Shaw, escritor inglês, 1856-1950.*

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE QUADROS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE SIGLAS E ABREVIações	xiii
RESUMO .....	xv
ABSTRACT .....	xvi
 <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	 <b>1</b>
1.1 Justificativas para escolha do tema.....	3
1.2 Objetivos.....	4
 <b>2. LIMITES TERRITORIAIS NO CADASTRO IMOBILIÁRIO.....</b>	 <b>5</b>
2.1 Cadastro: Terminologia e Conceitos.....	5
2.2 Elementos de um cadastro imobiliário.....	8
2.3 Limites de unidades territoriais.....	10
2.3.1 Breve histórico de determinação de limites territoriais.....	11
2.3.2 Caracterização de limites de unidades territoriais.....	12
2.4 Os limites territoriais no cadastro e registro de imóveis a partir da Lei 10.267/2001.....	14
2.4.1 O Estatuto da Terra e a Lei 5.868/72.....	15
2.4.2 A Lei nº 10.267/01.....	16
2.4.2.1 A identificação dos imóveis rurais a partir da Lei 10.267/2001	18
2.4.2.2 O Georreferenciamento ao Sistema Geodésico Brasileiro exigido pela Lei 10.267/2001.....	19
 <b>3. LEVANTAMENTO CADASTRAL.....</b>	 <b>28</b>
3.1 Métodos de levantamento cadastral.....	30
3.1.1 O método polar.....	31
3.1.2 Poligonação.....	33
3.1.3 Posicionamento por satélite.....	35
3.1.3.1 Geometrias usuais para levantamentos com GPS.....	40
3.2 O profissional responsável pelos levantamentos para fins legais.....	42
3.3 Normas técnicas para execução de levantamentos cadastrais.....	45
3.4 As normas do INCRA para georreferenciamento de imóveis rurais.....	47
3.5 O Sistema Cartográfico Nacional.....	49
 <b>4. CONTROLE DE QUALIDADE NA DETERMINAÇÃO DE LIMITES DE IMÓVEIS RURAIS.....</b>	 <b>51</b>
4.1 Ajustamento – Método paramétrico.....	52
4.2 A lei de propagação de erros.....	58
4.2.1 Aplicação da lei de propagação de erros nas coordenadas dos limites de propriedade.....	60
4.2.2 Aplicação da lei de propagação das variâncias nas coordenadas dos limites.....	67

4.3 O princípio da vizinhança.....	70
<b>5. DETERMINAÇÃO DE LIMITES DE IMÓVEIS RURAIS EM ATENDIMENTO A LEI 10.267/01 E DECRETO 4.449/02.....</b>	<b>72</b>
5.1 Métodos e materiais utilizados.....	73
5.2 Simulação no campus da UFPE.....	74
5.2.1 Processamento das linhas de base e cálculo das coordenadas dos pontos de apoio planimétrico.....	78
5.2.1.1 Teste 01 – utilização simultânea das estações Maceió e Petrolina como referências fixas.....	79
5.2.1.2 Teste 02 – utilização individual de cada uma das estações Maceió e Petrolina como referências fixas.....	80
5.2.2 Cálculo das coordenadas dos pontos limite de propriedade.....	85
5.3 Levantamento do Sítio Vale Encantado em Macaparana/PE.....	88
5.3.1 Levantamento por GPS.....	89
5.3.2 Levantamento taqueométrico.....	92
5.3.3 Cálculo das coordenadas dos pontos da rede.....	94
5.3.4 Cálculo das coordenadas dos limites de propriedade.....	97
5.3.4.1 Determinação dos cinco vértices da propriedade.....	97
5.3.4.2 Determinação dos cinquenta e quatro pontos de limite da propriedade.....	99
<b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>103</b>
6.1 Conclusões.....	104
6.2 Recomendações.....	105
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXO : Observações lineares e angulares.....</b>	<b>113</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Caracterização de limites.....	13
Figura 02: Estações RBMC.....	21
Figura 03: Densificação RBMC.....	25
Figura 04: Estações RIBaC.....	26
Figura05: Método polar.....	32
Figura 06: Sistema de coordenadas plano-retangulares dos pontos limite de propriedade.....	33
Figura 07: Sistema de coordenadas plano- retangulares das estações da poligonal.....	35
Figura 08: Propagação multicaminho.....	39
Figura 09: Levantamento radial.....	40
Figura 10: Levantamento radial com bases transversais.....	41
Figura 11: Rede com adensamento a partir de pontos de referência local	41
Figura 12: Rede com adensamento a partir de pontos de referência local.....	42
Figura 13: Retângulo de erro padrão da estação E3.....	55
Figura 14: Elipse de erro padrão da estação E3.....	56
Figura 15: Esquema de desenvolvimento da pesquisa.....	73
Figura 16: Croqui de localização dos pontos limite de propriedade.....	75
Figura 17: Esquema dos pontos delimitadores da propriedade e ponto de apoio planimétrico EE.....	76
Figura 18: Esquema dos pontos delimitadores da propriedade e ponto de apoio planimétrico BB.....	76
Figura 19: Determinação do ponto EE, considerando-se Petrolina e Maceió como referência.....	80
Figura 20: Determinação do ponto BB, considerando-se Petrolina e Maceió como referência.....	80
Figura 21: Determinação do ponto EE, considerando-se a estação de Maceió como referência.....	82
Figura 22: Determinação do ponto EE, considerando-se a estação de Petrolina como referência.....	82
Figura 23: Determinação do ponto BB, considerando-se a estação de Maceió como referência.....	83
Figura 24: Determinação do ponto BB, considerando-se a estação de Petrolina como referência.....	83
Figura 25: Localização do município de Macaparana.....	88

Figura 26: Esquema do triângulo E1-E2-RECF.....	90
Figura 27: Determinação dos pontos de apoio E1 e E2 a partir da estação RECF.....	90
Figura 28: Disposição geométrica dos vértices e os pontos de apoio...	91
Figura 29: Esquema de deslocamento dos equipamentos.....	92
Figura 30: Esquema da rede de apoio ao levantamento e os limites de propriedade.....	93

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Estações RBMC.....	22
Quadro 02: Resumo das derivadas parciais da função F.....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Precisão do posicionamento estático.....	37
Tabela 02 – Classes de acordo com a precisão planimétrica (P) após ajustamento.....	48
Tabela 03 – Caderneta de campo.....	77
Tabela 04 – Parâmetros de comparação para o desvio padrão da linha de base processada.....	78
Tabela 05 – Linhas de base obtidas com o processamento separado de cada um dos pontos.....	81
Tabela 06 – Coordenadas dos pontos de apoio EE e BB e seus respectivos desvios padrão.....	84
Tabela 07 – Discrepância para os pontos de apoio EE e BB.....	84
Tabela 08 – Discrepâncias entre os pontos de limite de propriedade utilizando-se os pontos de apoio local EE e BB.....	87
Tabela 09 – Fechamentos angulares e lineares das poligonais.....	93
Tabela 10 – Caderneta de campo 01.....	94
Tabela 11 - Caderneta de campo 02.....	94
Tabela 12 – Comprimento e desvio padrão das linhas RECF-E1 e RECF-E2.....	95
Tabela 13 – Coordenadas dos pontos de apoio E1 e E2 e seus respectivos desvios padrão.....	95
Tabela 14 – Coordenadas planas iniciais dos pontos da rede – SAD 69.....	96
Tabela 15 – Coordenadas planas ajustadas e desvio padrão de cada estação de apoio ao levantamento dos limites de propriedade – SAD 69.....	97
Tabela 16 – Parâmetros das elipses de erro de cada estação de apoio ao levantamento dos limites de propriedade.....	97
Tabela 17 – Coordenadas dos vértices e desvio padrão – SAD 69.....	98
Tabela 18 - Deslocamento ocorrido para os vértices e os pontos de apoio.....	98
Tabela 19 – Determinação das linhas de base.....	99
Tabela 20 - Coordenadas dos limites de propriedade e seus respectivos desvios padrão.....	100
Tabela 21 – Parâmetros das elipses de erro para os pontos limite irradiados a partir de cada estação.....	101

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
BDG	Banco de dados Geodésicos
CNIR	Cadastro Nacional de Imóveis Rurais
CC	Centro de controle
CEMIG	Centrais Elétricas de Minas Gerais
CREA	Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia
CTG	Centro de Tecnologia e Geociências
DEGED	Departamento de Geodésia
DGPS	Differential Global Position System
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
FIG	<i>Fédération Internationale des Géomètres</i>
FNMA	Fundação Nacional do Meio Ambiente
GE	<i>Géometres Expert Fonciers Européens</i>
GPS	Global Position Systems
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
LRP	Lei de Registros Públicos
LIS	<i>Land Information System</i>
MMQ	Método dos Mínimos Quadrados
NAVSTAR	<i>NAVigation System with Time and Ranging Global Positioning System</i>
NBR	Normas Brasileiras
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RIBaC	Rede INCRA de Bases Comunitárias do GPS

---

RINEX	<i>Receiver Independent Exchange Format</i>
SAD	<i>South American Datum</i>
SCA	Sistemas de Controle Ativos
SCO	Sistemas de Controle Operacional
SIR	Sistemas de Informações Rurais
SRF	Secretaria da Receita Federal
SNCR	Sistema Nacional de Cadastro Rural
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
USP	Universidade de São Paulo
UNICAMP	Universidade de Campinas
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>
WGS	World Global System

LUNA, Rejane Maria Rodrigues de. **Georreferenciamento e Determinação de Limites de Imóveis em Atendimento à Lei 10.267/2001** . Recife, 2004. Dissertação (Mestrado) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

O cadastro tem se consolidado como um sistema de informações territoriais fundamental para o desenvolvimento econômico dos países, utilizado pelos setores público e privado para o planejamento urbano e rural, aperfeiçoamento de sistemas tributários, gerenciamento territorial e monitoramento ambiental. Em 2001, foi sancionada a Lei 10.267/2001, que estabeleceu a exigência de georreferenciamento dos imóveis rurais, o estabelecimento de um intercâmbio sistemático de informações entre o cadastro e o registro de imóveis e a criação do Cadastro Nacional de Imóveis Rurais – CNIR. Nessa pesquisa avaliou-se a qualidade da determinação das coordenadas de pontos limites de propriedades, obtidas através da integração de métodos de levantamento, para atender às exigências da Lei 10.267/01, considerando-se a realidade atual no Brasil. Os métodos de levantamento cadastral foram detalhados e experimentos realizados, com ênfase na aplicação de métodos combinados, taqueometria eletrônica e posicionamento com GPS. Analisou-se, ainda, a adequação do Sistema Geodésico Brasileiro - SGB, para o georreferenciamento dos imóveis rurais com a precisão posicional definida após a lei. Com respeito à qualidade da medição dos limites de propriedade, o estudo propõe e detalha a aplicação do Método dos Mínimos Quadrados – MMQ e da lei de propagação de erros. Esses procedimentos são necessários para o atendimento ao princípio da vizinhança, exigido em levantamentos cadastrais, e para a obtenção de indicadores da incerteza posicional na determinação das coordenadas dos pontos que caracterizam geometricamente os limites das parcelas. Os resultados demonstram a urgência da densificação do SGB e a adequação da utilização de receptores GPS de uma frequência para a obtenção de coordenadas de limites com precisão melhor que 50cm.

LUNA, Rejane Maria Rodrigues de. **Georeferencing and Determination of Boundaries after 10.267/2001 Law**. Recife, 2004. Thesis (Master) – Technology and Geosciences Centre, Federal University of Pernambuco.

The cadastre has been consolidated as a Land Information System fundamental for the economic development of the countries. It is used for public and private sectors in the urban and rural planning, for improvement of fiscal systems, land management and environmental control. The 10.267/2001 Law was published in 2001. This law established that the georeferencing of rural lands to the Brazilian Geodetic System is compulsory, the systematic interchange of information between Cadastre and Registry and the creation of the National Cadastre of Rural Lands. In this research was assessed the quality in the determination of the coordinates of property boundaries, obtained by the integration of surveying methods, in order attend the Brazil to requirements of 10.267/2001 Law. The cadastral surveying methods were detailed and some studies were carried out, with emphasis in the application of combined methods: eletronic tacheometry and GPS positioning. It was analyzed also the suitability of the Brazilian Geodetic System – SGB, to georeference rural lands with the precision defined after the law. With respect to the quality to the measurement of the boundaries, the study proposes and details the application of Least Square and the covariance propagation. These procedures are necessities to evaluate neighbourhood principle, required in cadastral surveys, and to the determination of the coordinates of the boundaries. The results demonstrate the urgency of the densification of the SGB and the adequation of single frequency GPS receptors use in order to obtain boundaries coordinates with precision better them 50cm.



## 1. INTRODUÇÃO

O cadastro tem se consolidado como um sistema de informações territoriais, fundamental para o desenvolvimento econômico dos países. Entre suas funções, destaca-se a de disponibilizar à administração pública, em todos os níveis, um inventário de informações físicas e legais sobre as unidades territoriais. Atualmente, estas informações têm sido utilizadas pelos setores público e privado para o planejamento urbano e rural, aperfeiçoamento de sistemas tributários, gerenciamento territorial e monitoramento ambiental.

No Brasil, a implantação e a administração do cadastro encontra-se fragmentada entre as prefeituras, em áreas urbanas, e o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA, em áreas rurais. O direito de propriedade é estabelecido através de inscrições nos Registros de Imóveis.

Em 2001, foi instituída a Lei 10.267, conhecida como Sistema Público de Registro de Terras, considerada um marco para a organização territorial do país. Esta legislação tem o propósito de oferecer as condições mínimas necessárias ao controle do parcelamento do solo, bem como garantir uma forma de gestão do território que impeça a ocorrência de fraudes quanto ao uso e registro das propriedades rurais. Como principais pontos tratados na lei, identifica-se a exigência de georreferenciamento dos imóveis rurais para fins de registro imobiliário, o estabelecimento de um intercâmbio sistemático de informações entre o cadastro e o registro de imóveis e a criação do Cadastro Nacional de Imóveis Rurais – CNIR.

A exigência de georreferenciamento dos imóveis rurais teve como justificativa o combate à ocupação irregular de terras públicas e privadas em nosso país, dando mais transparência e credibilidade aos registros imobiliários. Através do georreferenciamento, como uma possibilidade de garantia para a determinação inequívoca da unidade cadastrada, torna-se possível o controle da ocupação e parcelamento do solo, desde que atendidas as exigências de precisão posicional

das coordenadas que definem os vértices do polígono delimitador da propriedade. Para este fim, impõe-se a necessidade de implantação de uma única base de dados dos imóveis rurais, vinculada ao Sistema Geodésico Brasileiro, conforme prevê o parágrafo 3º do artigo 3º desta Lei.

A Lei exige, ainda, a Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) do profissional que executar o levantamento, ou seja, os levantamentos serão realizados por profissionais devidamente habilitados para esse fim e, portanto, passíveis de responderem judicialmente por eventuais falhas nos procedimentos técnicos.

Esta pesquisa tem como proposta analisar o novo Sistema Público de Registro de Terras, instituído a partir da aprovação pelo Congresso Nacional da Lei nº 10.267, a qual foi sancionada em 28 de agosto de 2001, no que diz respeito ao posicionamento horizontal dos pontos que representam os limites de propriedades rurais.

O embasamento teórico do trabalho concentrou-se em questões técnicas inerentes à função cadastral de garantia dos limites imobiliários, mais especificamente na determinação de limites territoriais e na qualidade dessas determinações. Procurou-se definir com clareza conceitos pouco explorados pelo meio científico no Brasil, como os de limites e levantamento cadastral.

Os métodos de levantamento cadastral foram detalhados e experimentos realizados, com ênfase na aplicação de métodos combinados, taqueometria eletrônica e posicionamento com GPS, com georreferenciamento a partir de pontos da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC e a pontos da Rede INCRA de Bases Comunitárias de GPS.

Com respeito à definição da qualidade da medição dos limites de propriedade, o estudo propõe e detalha a aplicação do Método dos Mínimos Quadrados – MMQ e da lei de propagação de erros. Estes procedimentos são necessários para o atendimento ao princípio da vizinhança, exigido em levantamentos cadastrais, e para a obtenção de indicadores da incerteza posicional na determinação das coordenadas dos pontos que caracterizam geometricamente os pontos delimitadores das parcelas.

### **1.1 Justificativas para escolha do tema**

O estudo de temas cadastrais mostra-se relevante no Brasil, devido principalmente a algumas mudanças legislativas ocorridas nos últimos anos. Neste aspecto, pode-se destacar a Lei 10.267/2001 (e seu regulamento) e a Lei 10.257/2001, conhecida como Estatuto da Cidade, que regulamenta instrumentos jurídicos e urbanísticos para a regularização fundiária em áreas urbanas. Estas duas leis, além da Lei de Responsabilidade Fiscal (Lei nº 101/2000), que determina que o município mantenha sistemas de arrecadação, exige que a administração pública disponha de instrumentos eficazes de informação territorial em escala cadastral.

A Lei 10.267 tem como consequência uma mudança de paradigmas, por estabelecer um inter-relacionamento entre questões técnicas e jurídicas referentes a direitos de propriedade, daí a complexidade da sua aplicação. Assim, questões técnicas, legais e administrativas devem ser objeto de estudo de pesquisadores dedicados ao cadastro, a fim de apoiar a consolidação das mudanças que tardiamente se iniciam, e que são, sem dúvida, benéficas para o desenvolvimento do país.

No que diz respeito aos efeitos dos produtos dos levantamentos técnicos, a lei 10.267 estabelece, de forma sistemática, um caráter jurídico ao resultado do trabalho do profissional de levantamento. A exigência da precisão das coordenadas de cada vértice também é tema novo na rotina da execução dos levantamentos de

imóveis no Brasil, por isso justifica-se a realização de pesquisas como esta, que testem as metodologias disponíveis e analisem a sua viabilidade técnica e econômica.

## **1.2 Objetivos**

### **Geral**

Avaliar a incerteza na determinação das coordenadas de pontos limites de propriedades, obtidas através da integração de métodos de levantamento, para atender às exigências da Lei 10.267/01.

### **Específicos**

- a) Investigar a determinação de limites de imóveis para fins legais e o controle de qualidade dos levantamentos;
- b) Identificar métodos de levantamento cadastral, adequados ao atendimento da precisão do georreferenciamento exigido pela Lei Nº 10.267/01;
- c) Analisar a utilização dos pontos do Sistema Geodésico Brasileiro para o georreferenciamento dos imóveis rurais;
- d) Aplicar os métodos identificados em levantamentos de limites de imóvel rural e testar a qualidade do levantamento.

## 2. LIMITES TERRITORIAIS NO CADASTRO IMOBILIÁRIO

Este capítulo apresenta os conceitos relativos ao tema pesquisado. São definidos o cadastro imobiliário e seus elementos constituintes, os limites territoriais e suas formas de caracterização. Apresenta-se, ainda, uma relação entre estes conceitos e a situação cadastral no Brasil, e as alterações trazidas para o cadastro e o registro de imóveis pela Lei 10.267/2001.

### 2.1 Cadastro: Terminologia e Conceitos

O cadastro, como toda atividade humana, é consequência de um passado histórico. Compreendendo-se o passado da atividade cadastral pode-se compreender o presente. A análise do presente, por sua vez, proporciona subsídios para o planejamento do futuro.

Existem algumas opiniões divergentes quanto à origem do termo cadastro. O vocábulo citado mais freqüentemente como sendo a origem do termo é *capistratum*, do latim medieval, uma fusão das palavras *capitum* e *registrum*. Alguns autores sustentam que o termo original é *capitationis registrum*, que é o nome que recebia o registro dos imóveis tributáveis. Esse termo aparece pela primeira vez no Códice Teodosiano de Godofredos, por volta do ano de 1640(CARNEIRO,2003).

EBERL(1982) in CARNEIRO(2003), apresenta estudo do pesquisador Blondheim que cita um documento veneziano datado de 1185, assim como outras referências nas quais aparece a palavra de origem bizantina, denominada *catastijón*, em grego *katastikhon*, que significa registro, lista. As evidências apontadas pela documentação indicam, assim, que a palavra cadastro provém da palavra bizantina *catastijón*, que se converte em *catasto* na Itália e finalmente em Catastro (espanhol), Kataster (alemão), Cadastre (francês/inglês) ou Cadaster (inglês).

Conforme BURITY & BRITO (1998), há relatos de que o cadastro tenha surgido de modo rudimentar na colonização ao longo dos rios Tigre, Eufrates e Nilo,

sendo sua receita destinada aos faraós e sacerdotes como forma de arrendamento de terras, baseando-se no princípio de que todas pertenciam ao rei. Os gregos e romanos também desenvolveram um registro de informações da terra tendo como suporte um sistema de medição, já prevendo os benefícios que estes trariam em forma de arrecadação de tributos.

Do ponto de vista internacional, a *Federation Internationale des Geometres* – FIG conceitua o cadastro como um sistema de informações territoriais, atualizado e baseado em parcelas contendo registros sobre a terra (por exemplo, direitos, restrições e responsabilidades) (FIG,1998). Essa é uma visão do cadastro do futuro, ou o chamado cadastro 2014, cujo conceito é o seguinte: “Cadastro é um inventário público de dados metodicamente organizados concernentes a parcelas territoriais, dentro de um certo país ou município, baseado no levantamento dos seus limites” (KAUFMANN & STEUDLER 1998).

PHILIPS (1996, p.II-170) adota o termo Cadastro de Bens Imobiliários cuja definição clássica é a seguinte: “É o registro geométrico, técnico e a lista oficial de lotes e parcelas, com fé pública, para garantir tanto a integridade geométrica dos limites como também os direitos relacionados à propriedade imobiliária.”

De acordo com a FIG (1998) e com o princípio do Cadastro Napoleônico, a unidade territorial básica do cadastro é a parcela imobiliária. Em sua Declaração sobre o Cadastro (*Statement on the Cadastre*), a FIG afirma que as parcelas são unidades definidas por limites formais ou informais que delimitam a extensão de terras para uso exclusivo de indivíduos ou grupos específicos de indivíduos (como por exemplo, famílias, sociedades, grupos comunitários).

O Cadastro pode ser visto ainda como um Sistema de Informações Territoriais – SIT (*Land Informatio Systems – LIS*) baseado em parcelas. McLAUGHLIN (1997) afirma que um SIT é uma combinação de recursos técnicos e humanos com um conjunto de procedimentos organizacionais, produzindo informações de apoio a

exigências de gerenciamento. Do ponto de vista internacional, um SIT apóia o gerenciamento territorial fornecendo informações sobre a terra, seus recursos e o seu uso. A operacionalização de um SIT inclui a aquisição e reunião de dados, seu processamento, armazenamento e manutenção, além da recuperação, análise e divulgação. A utilidade de tal sistema depende de sua atualização, precisão, completitude e acessibilidade.

Para DALE & McLAUGHLIN (1990), “o cadastro multifinalitário deve ser compreendido como um sistema de informações territoriais cuja unidade é a parcela. Serve de base para os demais tipos de cadastro (legal, fiscal, entre outros) e apresenta como principais componentes uma rede de referência espacial, um sistema de mapeamento básico e um conjunto de arquivos relacionando vários tipos de informações a cada parcela”.

O caráter eminentemente fiscal do cadastro permanece até os dias atuais, porém os sistemas cadastrais evoluíram e passaram a ser, em muitos países, além de base fiscal, garantia legal da propriedade imobiliária. As definições mais atuais do cadastro imobiliário apontam para a necessidade do estabelecimento de um sistema unificado e atualizado de informações sobre a terra, que contenha registros sobre as unidades territoriais, denominadas parcelas. Esses registros devem ser de tal natureza que garantam direitos, restrições e responsabilidades sobre cada parcela.

As definições apontadas pelos diversos autores se complementam e todos estão de acordo quando mencionam a geometria das parcelas como unidade territorial básica do cadastro.

O quadro do Cadastro no Brasil, entretanto, ainda encontra-se distante destas definições mais modernas, cuja origem está nos cadastros dos países mais desenvolvidos do mundo, com tradição histórica em Geodésia e Cadastro.

No Brasil não existe diretriz central ou órgão que estabeleça a padronização, operação e atualização dos cadastros, que se apresentam difusos e são de responsabilidade de diferentes esferas no que se refere ao urbano e ao rural. Enquanto na área urbana o cadastro é de responsabilidade das prefeituras, na área rural identifica-se o Sistema Nacional de Cadastro Rural – SNCR, de caráter declaratório, administrado pelo Instituto Nacional da Colonização e Reforma Agrária – INCRA, e o Cadastro Nacional de Imóveis Rurais - CNIR, criado pela Lei 10.267/2001. Além destes, identificam-se cadastros específicos, estabelecidos para fins tributários ou ambientais, a exemplo dos cadastros mantidos pela Secretaria da Receita Federal – SRF e Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA.

O termo Cadastro Imobiliário tem sido utilizado por CARNEIRO (2003,p.24) com o sentido da definição internacional de cadastro citada anteriormente, considerando que no Brasil ainda se utiliza como unidade cadastral o imóvel, e pela necessidade de diferenciar o cadastro de bens imobiliários do cadastro com significado de lista ou registro de pessoas ou bens diversos. Nessa pesquisa, este termo será adotado a partir deste entendimento.

## **2.2 Elementos de um Cadastro Imobiliário**

Do ponto de vista técnico, o cadastro imobiliário deve apresentar-se apoiado em 3 (três) sistemas básicos:

- Geométrico (redes de referência);
- Cartográfico (dados gráficos, representação);
- Descritivo.

Uma definição segura e confiável dos limites das propriedades é obtida através de medições vinculadas a uma estrutura geodésica de referência homogênea, única, permanente e convenientemente materializada no terreno.



A base métrica para o cadastro imobiliário é constituída pelo resultado de levantamentos técnicos (na forma de observações, cálculo, listas, arquivos de croquis de levantamento cadastral, marcos, entre outros). Estes dados devem estar amarrados a uma rede de referência cadastral (ABNT, 1998 - NBR 14.166).

Numa concepção mais moderna, no chamado cadastro de coordenadas, os limites legais dos imóveis devem ser definidos através de coordenadas, determinadas a partir de levantamentos geodésicos ou topográficos e fisicamente demarcados, tendo a rede nacional de pontos como única referência geodésica.

Pode-se obter a informação geométrica dirigida para o cadastro utilizando-se basicamente métodos que envolvem três ciências. São elas a Geodésia, a Topografia e a Fotogrametria (SILVA, 1979).

Para essa pesquisa, serão apenas utilizados os métodos que envolvem a Geodésia e a Topografia.

Segundo SILVA(1979), os métodos utilizados na obtenção das informações geométricas para o cadastro são basicamente adotados em função da precisão que se deseja atingir, onde se leva em conta os objetivos do cadastro, as disponibilidades da região no que diz respeito à cartografia existente, equipamento, recursos humanos e financeiros.

O Sistema Cartográfico abrange o registro geométrico e espacial das parcelas. A carta cadastral representa, em escala adequada, a situação geométrica de um imóvel no contexto de sua vizinhança. Contém, essencialmente, as delimitações dos imóveis e edificações, bem como a representação do seu uso atual, além de outras informações importantes.

SILVA(1979) enfatiza que, a parte cartográfica do cadastro trata da forma e dimensões das propriedades públicas e privadas. É, pois, a ferramenta de trabalho

de planejadores e executores de obras, servindo ainda aos órgãos fiscais dos municípios, fornecendo-lhes os dados necessários a cobrança de taxas e impostos referentes a propriedade imobiliária. Afirmar, também, que a parte cartográfica com função social garante a existência física da propriedade imobiliária, já registrada no Registro de Imóveis.

Os dados descritivos referem-se geralmente a informações relativas a direitos e obrigações sobre o imóvel, valor, uso, entre outros.

A parte descritiva do cadastro, além de atender às necessidades informacionais dos proprietários de imóveis, deve servir como um banco de dados para todos os órgãos de interesse público que necessitem desta classe de informação(SILVA, 1979).

## **2.3 Limites de unidades territoriais**

A natureza e definição dos limites são fatores que influenciam diretamente na demarcação, levantamento e descrição das parcelas. DALE & MCLAUGHLIN (1988) apresentam a seguinte definição: “Limite é uma superfície vertical que define onde termina um domínio territorial e começa o próximo”. A superfície de limite intercepta o terreno ao longo de uma linha de limite legal, impedindo que os direitos de propriedade de um não interfiram no outro. Este conceito descreve o caráter legal do limite.

Fisicamente, no entanto, o limite é materializado através de feições lineares como cercas ou feições pontuais (estacas de madeira, barras de ferro ou marcos de concreto). Estes limites físicos possuem uma largura que não corresponde ao limite legal. Nem sempre fica determinada se a posição daquela linha é no centro ou de um dos lados da cerca ou do muro.

### 2.3.1 Breve histórico da determinação de limites territoriais

Os nômades definiam seus limites através das áreas que por eles eram usadas para fins de caça e pesca, restringindo, assim, os espaços ocupados pelas tribos adversárias. Porém, a extensão delimitada por cada tribo não definia, com precisão, os limites.

As antigas civilizações da Mesopotâmia demarcavam os limites de suas fronteiras através de marcas e cortes feitos sobre rochas. Os gregos e também os romanos desenvolveram sistemas em que os limites eram colocados por sobre as rochas, onde nas divisas entre propriedades, as rochas recebiam uma inscrição denominada “Terminus” (SIMMERDING & HENSSEN, 1986).

No início da Idade Média, a legislação romana conceitua as fronteiras como sendo uma linha matemática imaginária, contrariando a idéia defendida pelos conquistadores germânicos. Para eles, as fronteiras eram originalmente áreas que serviam para separar propriedades e territórios. Com a expansão da disponibilidade territorial e o crescimento populacional, cada território tinha seus limites demarcados, dando origem a novas áreas entre as fronteiras. Essas áreas eram então ocupadas e divididas. Entretanto, em alguns distritos, essas áreas permaneciam sem ocupação, pois representavam vias e eram muito estreitas, sendo consideradas propriedade comum e legalmente representavam os limites.

Durante o século XIX, a Europa foi marcada inicialmente por um período de intensa atividade de levantamentos de propriedades e mais tarde por cobrança de imposto territorial e confecção de mapas em escalas grandes. Em alguns distritos, os limites das propriedades foram densamente materializados, enquanto que em outros, havia poucos pontos ou nenhum. Nessa época, alguns países desenvolviam levantamento cadastral sistemático e todos os limites de propriedades eram demarcados. Os resultados, porém, não atendiam às expectativas. No final desse século, o progresso fez com que as técnicas de levantamento finalmente melhorassem os resultados numéricos. Daquela época até os dias atuais, os pontos de limite foram estabelecidos dentro de 1cm ou alguns centímetros, e os resultados

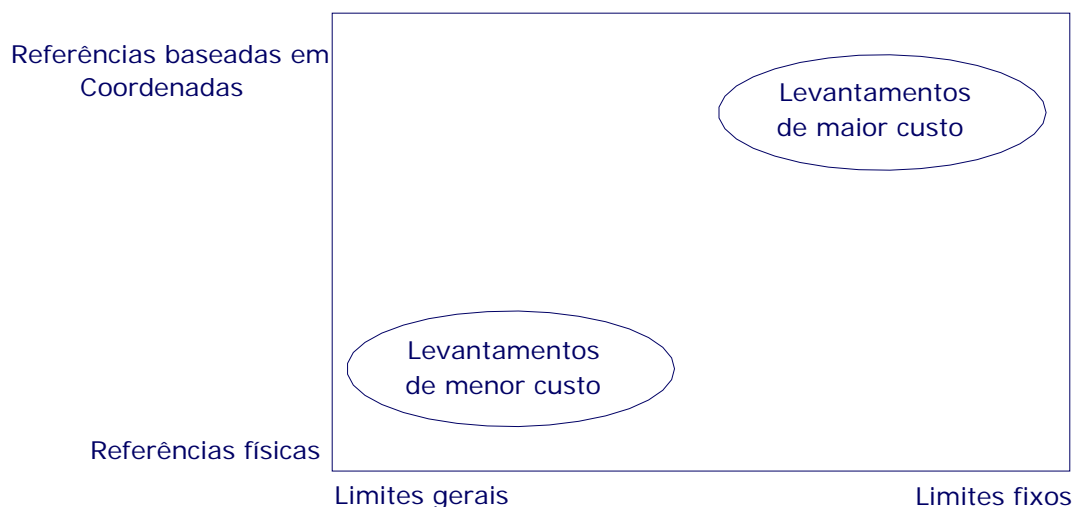
dos levantamentos passaram a ser processados e armazenados, de tal modo que permitem a redefinição, com precisão, de qualquer ponto de limite que tenha se perdido. Rapidamente, estabeleceram-se aplicações de novas técnicas para os levantamentos urbanos, impondo-se, para tal, exigências mais estritas e que foram também utilizadas em áreas rurais e florestais (SIMMERDING & HENSSEN, 1986).

### 2.3.2 Caracterização de limites de unidades territoriais

Os limites das parcelas podem ser caracterizados de duas maneiras: os limites gerais (*general boundaries*) e os limites fixos (*fixed*) ou específicos. No primeiro modelo, utilizado principalmente no Reino Unido (e regulado pelo *Land Registration Act*, de 1875), a linha exata do limite é mantida indeterminada. Isto significa que, no caso de limites materializados através de muros ou cercas, não se especifica se o limite localiza-se no centro ou em um dos lados do mesmo.

WOLTERS(2000) explica que o limite é caracterizado por uma descrição e/ou por um mapa topográfico em escala adequada. A concordância dos vizinhos não é exigida. No Reino Unido, os limites de propriedade são obtidos dos mapas do *Ordnance Survey*, nas escalas de 1:1.250, em áreas urbanas, e 1:2.500 em áreas rurais. A precisão da obtenção desses limites depende, assim, da precisão dos mapas, ficando em torno de 0,20 a 0,30m. O mapa indica apenas se o limite segue uma estrada, cerca ou rio.

Nos limites específicos, a posição da linha que define o limite legal é determinada dentro de um certo valor de precisão. Os limites são definidos geralmente através de coordenadas vinculadas a um sistema de referência realizado, oficial. A identificação precisa dos limites e a concordância dos vizinhos é fundamental no processo. Nesse sistema, a parcela possui um código único que a identifica no cadastro e no registro e um mapa de parcelas, mostrando a sua posição. A figura 01 ilustra claramente as características dos sistemas de levantamento cadastral, quando são considerados estes dois tipos de limites de propriedades. A maior precisão da determinação dos limites fixos implica em maior custo do levantamento.



**Figura 01 - Caracterização de limites**  
 Fonte: Adaptada de DALE & McLAUGHLIN, 1990.p.30.

MANTHORPE(2000) apresenta resultados de um levantamento realizado na Europa, indicando que 53% dos países membros da União Européia utilizam o sistema de limites fixos, 21% os limites gerais, enquanto que 26% adotam uma combinação dos dois sistemas.

Observa-se que todo sistema de registro territorial adota algum tipo de caracterização de limites, seja descritivo, gráfico, digital, e também uma monumentação visível ou da feição (muro, cerca) ou do marco.

Enquanto a posição de características físicas pode ser obtida a partir de inspeção em campo, uma perfeita determinação das coordenadas dos limites e, conseqüentemente, a representação destes limites num mapa, é tarefa impossível, mesmo com a utilização das técnicas de levantamento mais precisas. Na prática, as tolerâncias especificadas para os levantamentos dependem do detalhamento e da escala do mapa no qual estes limites serão representados.

## **2.4 Os limites territoriais no cadastro e registro de imóveis a partir da Lei 10.267/2001**

Segundo CARNEIRO(2000, p.41), não há no Brasil, como em outros países, uma legislação específica que trate do cadastro, nos termos de uma Lei de Cadastro, como ocorre com a Lei de Registros Públicos (Lei 6.015/1973). Assim, o Cadastro Rural foi estabelecido pelo Estatuto da Terra e apenas nos códigos tributários municipais encontra-se menção direta ao Cadastro Imobiliário, com finalidade estritamente fiscal.

O direito à propriedade, limitando-a por sua função social, é garantido pelo Artigo 5 da Constituição Federal do Brasil de 1988. Os bens imóveis são definidos no Artigo 79 do Código Civil Brasileiro ou Lei 10.406 de 10 de janeiro de 2002 (BRASIL, 2002) como sendo: “o solo e tudo quanto se lhe incorpora natural ou artificialmente”. O mesmo código, no Artigo 1227, estabelece que os direitos reais sobre imóveis constituídos, ou transmitidos por ato entre vivos, se adquirem com o registro no Cartório de Registro de Imóveis dos referidos títulos e os Artigos 1229 e 1230 caracterizam a propriedade do solo. A Lei 6.015 de 31 de dezembro de 1973 ou Lei de Registros Públicos - LRP (BRASIL, 1973) estabelece o princípio da especialidade para o Registro de Imóveis, o que significa dizer que para ser registrado o imóvel deve ser individualizado de forma inequívoca. No entanto, o princípio da especialidade do Registro de Imóveis no Brasil sempre foi caracterizado pela descrição literal, o que normalmente ocasiona numa identificação imprecisa do imóvel (PINTO, 2001).

Nos últimos anos, no entanto, três leis contribuíram para impulsionar o desenvolvimento do cadastro no Brasil:

- Lei de Responsabilidade Fiscal nº 101 de 04 de maio de 2000 – estabelece normas de finanças públicas voltadas para a responsabilidade na gestão fiscal, com amparo no capítulo II do Título VI da Constituição. Lamentavelmente, usada na cobrança de impostos, como uma fonte de gerar recursos, uma vez que nem todos os municípios têm recursos próprios;

- Estatuto da cidade (Lei 10.257/01) – em vigor a mais de dois anos (2001), obriga aos municípios tomarem mais cuidado no que diz respeito à maneira como o solo urbano está sendo ocupado, de forma a não contrariar o crescimento urbano, porém, muitas prefeituras ainda não dispõem de um estatuto para por em prática essas leis;
- Lei 10.267/01 – trouxe algumas mudanças na maneira como são levantadas as propriedades rurais.

Neste trabalho será dada ênfase a esta terceira mudança na legislação, uma vez que o objeto de estudo é a Lei 10.267/01.

#### 2.4.1 O Estatuto da Terra e a Lei 5.868/72

O Estatuto da Terra ou Lei 4.504 de 30 de novembro de 1964 (BRASIL, 1964), estabeleceu um cadastro dos imóveis rurais, dispositivo que foi reafirmado na Lei 5.868 de 12 de dezembro de 1972 quando foi criado o Sistema Nacional de Cadastro Rural - SNCR (BRASIL, 1972). Esse sistema tinha uma peculiaridade, mantida até hoje, em que o cadastro dos imóveis tem por base a declaração dos proprietários, sem nenhuma exigência de levantamento cadastral com medições.

Em seu artigo 49, parágrafo segundo, o Estatuto da Terra diz *que* “todos os proprietários rurais ficam obrigados, para os fins previstos nesta lei, a fazer declarações de propriedade, nos prazos e segundo normas fixadas na regulamentação desta lei”.

Diz ainda que “as declarações dos proprietários para fornecimento de dados destinados à inscrição cadastral, são feitas sob sua inteira responsabilidade e, no caso de dolo ou má – fé, os obrigarão ao pagamento em dobro dos tributos realmente devidos, além das multas decorrentes e das despesas com as verificações necessárias”.

Com a aprovação da Lei 6.015 de 31 de dezembro de 1973, ou Lei dos Registros Públicos (BRASIL, 1973), o Registro de Imóveis estabelecido pelo Código

Civil de 1916 foi finalmente regulamentado, mas também não foi reconhecida a necessidade do levantamento cadastral do imóvel baseado em medições. Foi instituída a matrícula, mas a exigência de especializar o imóvel objeto do registro continuou sendo feita a partir de uma descrição textual, passível, portanto, de incertezas e dúvidas.

Segundo ZANATTA (1984), ao reafirmar o princípio estabelecido na Constituição Federal de 1946, de que o “*uso da propriedade ficaria condicionado à sua função social*”, o Estatuto da Terra procurou dar uma solução democrática para o problema fundiário, na medida em que, estimulando a criação da propriedade privada e garantindo aos pequenos proprietários os frutos de seu trabalho, condicionou a existência dessa propriedade à sua viabilidade econômica e ao bem estar do trabalhador rural. Propiciou, com base no conceito modular de área do estabelecimento rural, a criação de um sistema destinado assegurar a crescente evolução sócio-econômica do homem do campo.

#### 2.4.2 A Lei nº 10.267/01

Em agosto de 2001, surge uma nova perspectiva na organização da ocupação territorial brasileira, onde pela primeira vez na história brasileira fica estabelecido na legislação, de forma clara, um vínculo entre o Registro Imobiliário e a identificação do imóvel baseada em medições geodésicas. Essa perspectiva surgiu com a aprovação da Lei 10.267/2001.

Um dos aspectos que motivou a criação da Lei Nº 10.267/2001 foi a necessidade de assegurar a justa propriedade de terras públicas e privadas e dar mais transparência e credibilidade aos registros cartoriais e imobiliários, fazendo valer a importância de um cadastro de imóveis rurais georreferenciado, ou seja, baseado em medições geodésicas, referenciando-se os levantamentos ao SGB (Sistema Geodésico Brasileiro). Essa necessidade foi apresentada em um seminário promovido pelo INCRA (Instituto Nacional de Reforma Agrária), em junho de 1998, para apresentação e demonstração do seu Sistema de Informações Rurais (SIR), criado após revisão básica do Sistema Nacional de Cadastro Rural. Sendo assim, a Lei Nº 10.267 em vigor desde 28 de Agosto de 2001, juntamente com seu Decreto



Regulamentador Nº 4.449 de 30 de outubro de 2002, representa um referencial na organização territorial brasileira, em se tratando de imóveis localizados em áreas rurais.

A nova Lei, Nº 10.267/2001, instituiu o CNIR (Cadastro Nacional de Imóveis Rurais) como uma base comum de informações gerenciada pelo INCRA e pela Secretaria da Receita Federal, produzida e compartilhada por instituições públicas produtoras e usuárias de informações sobre o meio rural.

De acordo com CARNEIRO (2002), a Lei 10.267/2001 representa um marco na organização territorial brasileira em áreas rurais. Isso porque reconhece a necessidade de um cadastro dos imóveis rurais com base em medições geodésicas, bem como possibilita o início de uma efetiva integração entre cadastro e registro de imóveis.

Antes da nova legislação, a identificação dos imóveis para fins de registro era realizada através de uma descrição literal, uma vez que não havia exigência de medições, o que resultou em identificações imprecisas, com limites indefinidos, além de superposições de áreas.

O Decreto Nº 4.449 de 30 de Outubro de 2002, que regulamenta a Lei Nº 10.267/2001 determina que “a identificação do imóvel rural será obtida a partir de memorial descritivo elaborado, executado e assinado por profissional habilitado e com a devida Anotação de responsabilidade Técnica – ART, contendo as coordenadas dos vértices definidores dos limites dos imóveis rurais, georreferenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro e com precisão posicional a ser estabelecida em ato normativo, inclusive em manual técnico, expedido pelo INCRA”.

Através da Portaria do INCRA nº 954, de 13 de novembro de 2002, fica estabelecido que o indicador de precisão posicional a ser atingido na determinação de cada par de coordenadas, relativa a cada vértice definidor do limite do imóvel, não deverá ultrapassar o valor de 0,50m, conforme o estabelecido nas Normas Técnicas para Levantamentos Topográficos.

#### 2.4.2.1 A identificação dos imóveis rurais a partir da Lei 10.267/2001

Antes da lei, utilizava-se um polígono que descrevia apenas a geometria da propriedade, com as medições das distâncias horizontais e dos ângulos de deflexão, onde a figura estava orientada no espaço, utilizando-se para isso uma bússola ou equipamento similar. Esses pontos definidores dos limites da propriedade eram por sua vez informados pelos proprietários.

Com o advento da modernização tecnológica, houve uma melhora na qualidade dos equipamentos e técnicas de medição. Com isso, ao serem medidos novamente os mesmos pontos, provavelmente, essas linhas onde termina um domínio e começa o outro, não coincidiriam, gerando, portanto sobreposição de áreas e interseções conhecidas como “terra de ninguém”.

A partir da lei 10.267, a caracterização dos limites das propriedades deve ser feita com precisão melhor que 50 cm. Com a reforma da legislação, surgiu a oportunidade para que os pontos definidores dos limites sejam levantados de forma que as suas coordenadas sejam únicas e a linha por eles definida seja realmente o limite da propriedade.

Para garantir a identificação inequívoca dos pontos delimitadores das propriedades, os levantamentos devem estar ligados a um sistema geodésico de referência. Esses pontos devem ter suas coordenadas estabelecidas e serão demarcados através de materialização no terreno, de acordo com as normas para georreferenciamento propostas pelo INCRA, de forma que possam ser recuperados; muito embora a lei não exija a demarcação. A nova lei diz que as propriedades devem ser levantadas a partir do sistema geodésico brasileiro em vigor e que as definições de limites tenham, sobretudo, caráter técnico e legal, ou seja, a coordenada associada a cada ponto representa um objeto legal, resolvendo vários problemas, inclusive o da determinação da área. Nem sempre a área calculada coincide com a área registrada. Com a delimitação feita por coordenadas, existe a possibilidade de uma relação inequívoca entre estas e a área, calculada através das equações de Gauss.

Com a instituição da lei 10.267/01, o cadastro brasileiro procura atender algumas exigências importantes do modelo de cadastro 2014, que é o cadastro moderno napoleônico, adotado como forma de organização do território. Segundo WILLIAMSON (1983), esse modelo apresenta como uma das contribuições mais importantes, o levantamento cadastral sistemático para o estabelecimento de um cadastro moderno e, segundo BULLOCK (1983), organiza o cadastro em parcelas e estabelece uma rede local de triangulação. Fazendo-se, então, a partir dessas considerações, um paralelo com as exigências da lei brasileira que determina o estabelecimento de uma rede geodésica confiável, para a qual os limites deverão ser georreferenciados, de maneira que os pontos possam ser restabelecidos quando necessário.

#### 2.4.2.2 O Georreferenciamento ao Sistema Geodésico Brasileiro exigido pela Lei 10.267/2001

Para que sejam garantidos os limites geométricos dos imóveis, deve-se dispor em primeiro lugar, de um sistema de referência de medição único e com características próprias (SILVA et. al, 1998).

Todos os limites de propriedades devem estar relacionados a um sistema único de referência, ao sistema fundamental de coordenadas do país ou da região. Este sistema geodésico composto pela latitude, longitude e altitude ortométrica de precisão, é determinado por processos geodésicos. As coordenadas curvilíneas podem ser transformadas em coordenadas plano-retangulares pela aplicação de um sistema de projeção. Uma estrutura geodésica implantada com o objetivo de cobrir todo território deve possuir uma rede de pontos fixos materializados por marcos com coordenadas de igual precisão.

Um dos objetivos da Lei nº 10.267/2001 é o georreferenciamento dos imóveis rurais ao SGB, o que significa que o ponto de apoio ao levantamento dos limites de propriedade deve estar diretamente conectado a uma estação pertencente ao

Sistema Geodésico Brasileiro - SGB, ou seja, uma estação que conste do Banco de Dados Geodésicos - BDG do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). As estações do BDG são tomadas como referência, pois se encontram dentro dos padrões estabelecidos (sistema de referência, precisão, etc) para o SGB.

O SGB é constituído pelas seguintes redes:

- Rede Clássica;
- Rede nacional GPS;
- Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo – RBMC;
- Redes estaduais de referência, homologadas pelo IBGE.

A precisão das estações da Rede Clássica, mesmo após ter sido reajustada em setembro de 1996, apresenta-se inferior aquela fornecida pelas determinações que utilizam receptores GPS de dupla frequência (IBGE, 2004). Sendo assim, torna-se inadequada a sua utilização. Porém, a norma do INCRA recomenda que, os pontos da Rede Clássica sejam utilizados, desde que os mesmos tenham sido reocupados com rastreadores de sinais do GPS, e suas novas coordenadas homologadas pelo IBGE.

Em 1991, o IBGE iniciou a densificação da componente planimétrica do SGB, com a utilização de receptores GPS, gerando a Rede Nacional GPS (IBGE, 2004).

A operacionalização da RBMC iniciada em 1996 implantou o conceito de rede ativa, através do monitoramento contínuo de satélites do GPS. Além da RBMC, pertencente ao SGB, estão disponíveis estações de monitoramento contínuo mantidas por empresas ou instituições, sendo a mais importante a RIBAC – Rede INCRA de Bases Comunitárias, de responsabilidade do INCRA. Para que estas estações possam ser utilizadas no georreferenciamento exigido por lei, no entanto, estas devem ser homologadas pelo IBGE, e a partir de então passam a fazer parte do sistema oficial.

A seguir, serão descritas as características das redes RBMC e RIBAC.

### a) A Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo - RBMC

Segundo FORTES(1997), a Rede Brasileira de Monitoramento contínuo do Sistema GPS (RBMC) começou a ser implantada no final de 1996, quando o IBGE, por intermédio do seu departamento de Geodésia (DEGED), e em colaboração com o Fundo Nacional de Meio Ambiente (FNMA) e com a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP) efetuou a instalação das estações de Curitiba/PR e de Presidente Prudente/SP, seguindo a tendência mundial do estabelecimento de redes GPS permanentes. No final de 2002, a RBMC encontrava-se constituída por um total de 15 estações estabelecidas ao longo do território brasileiro.

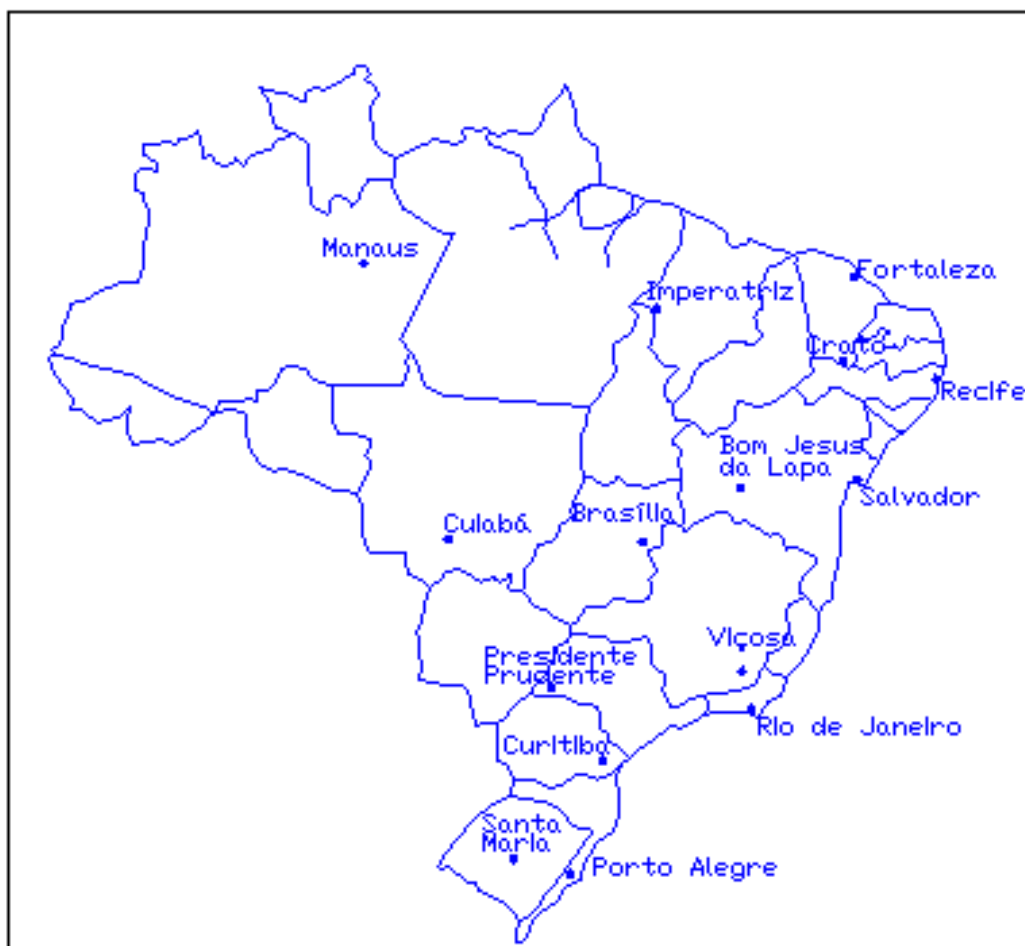


Figura 02 - Estações RBMC  
Fonte: IBGE, 2003

A figura 02 identifica as estações em operação: Fortaleza (FORT), Brasília (BRAZ), Curitiba (PARA), Presidente Prudente (UEPP), Bom Jesus da Lapa (BOMJ), Manaus (MANA), Viçosa (VICO), Cuiabá (CUIB), Imperatriz (IMPZ), Porto Alegre (POAL), Salvador (SALV), Recife (RECF), Crato (CRAT), Rio de Janeiro (RIOD) e Santa Maria (SMAR).

De acordo com o IBGE(2003), 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. Além disso, é também a principal ligação com os sistemas de referência globais.

Devido ao crescente avanço e popularização do GPS, cada vez mais usuários utilizam esta tecnologia, e as redes ativas desempenham importante papel nas diferentes aplicações, sendo de extrema importância o controle da qualidade dos dados, bem como a estabilidade de funcionamento das estações. O quadro 01 identifica as estações e seus respectivos códigos.

Quadro 01 - Estações RBMC

Estado	Estação	Identificação	Código
CE	Fortaleza	FORT	92009
DF	Brasília	BRAZ	91200
PR	Curitiba	PARA	91105
SP	Pres. Prudente	UEPP	91559
BA	B. Jesus da Lapa	BOMJ	93030
AM	Manaus	MANA	91300
MG	Viçosa	VICO	91696
MT	Cuiabá	CUIB	92583
MA	Imperatriz	IMPZ	92165
RS	Porto Alegre	POAL	91850
BA	Salvador	SALV	93111
PE	Recife	RECF	93110
CE	Crato	CRAT	92300
RJ	Rio de Janeiro	RIOD	91720
RS	Santa Maria	SMAR	92013

Fonte: IBGE, 2003.

O IBGE(2003) afirma que, segundo a distribuição das estações, usuários de GPS em qualquer lugar do país não se encontram a mais de 500 Km de pelo menos uma das estações, excetuando-se a região Amazônica. Dependendo dos procedimentos de observação e cálculo e do receptor utilizado, os usuários podem obter precisões que variam de um metro a alguns milímetros, usando-se a RBMC como referência.

Todas as estações da RBMC apresentam a seguinte configuração:

1. Receptor geodésico de dupla frequência, que coletam, continuamente, observações de código e fase das ondas portadoras;
2. Antena *Choke Ring* para minimizar os efeitos de multicaminhamento;
3. Micro computador, responsável pelo controle e operação da estação;
4. Sistemas diversos de fornecimento de energia;
5. Sistemas de comunicação para controle remoto das estações e transferência dos arquivos de dados.

Cada estação é materializada através de um pilar estável, dotado de um pino com dispositivo de centragem forçada. São coletadas observações de código, fase (L1/L2) e Doppler a uma taxa de 15 segundos, sendo sua disponibilização em formato RINEX2 (*Receiver INdependent EXchange format 2*).

Desde sua concepção, a RBMC encontra-se baseada no funcionamento automático das estações e na transferência diária dos arquivos de observação para o Centro de Controle da RBMC (CC-RBMC), no Rio de Janeiro (FORTES,1997). Assim sendo, os arquivos de dados referentes a uma data qualquer são colocados à disposição dos usuários no dia seguinte ao da observação. Antes da disponibilização das observações para os usuários, é realizado o controle de

qualidade dos dados. Comprovando-se esta qualidade, os arquivos de observação são liberados pela Internet.

A RBMC pode ser utilizada tanto para trabalhos práticos quanto para pesquisas científicas. É extremamente vantajosa para aqueles que fazem uso da técnica de posicionamento relativo e que necessitam ocupar simultaneamente uma estação com coordenadas conhecidas para o desenvolvimento dos levantamentos, sejam eles geodésicos ou topográficos. A RBMC oferece o serviço de estação base (referência), garantindo aos usuários alto nível de precisão nas suas coordenadas e maior produtividade nos levantamentos, o que leva a custos menores. Existe também a possibilidade de se usar mais de uma estação RBMC como base, garantindo assim o aumento da confiabilidade da determinação.

A RBMC encontra-se em fase de necessária densificação. Em 2003 ocorreu a integração à rede, de quatro estações de operação contínua administradas pela CEMIG – Centrais Elétricas de Minas Gerais, que, devido à sua área de abrangência, possibilitaram a densificação da rede na região sudeste do país. Destacam-se, também, as negociações com a Universidade de São Paulo/Escola de Engenharia de São Carlos (USP/EESC) e com a Universidade de Campinas (UNICAMP) no sentido de integrar suas estações, que se encontram em fase de estabelecimento à RBMC. Com o estabelecimento de seis estações do SIVAM, ainda em 2003, cerca de 80% da região amazônica estará recoberta nos mesmos padrões do restante do país. A figura 03 mostra uma visão geral para a densificação da RBMC, com quatro estações em fase de teste na região sudeste do país, seis estações planejadas para cobrir a região norte e as quinze estações em operação, cobrindo, assim, todo o território nacional.



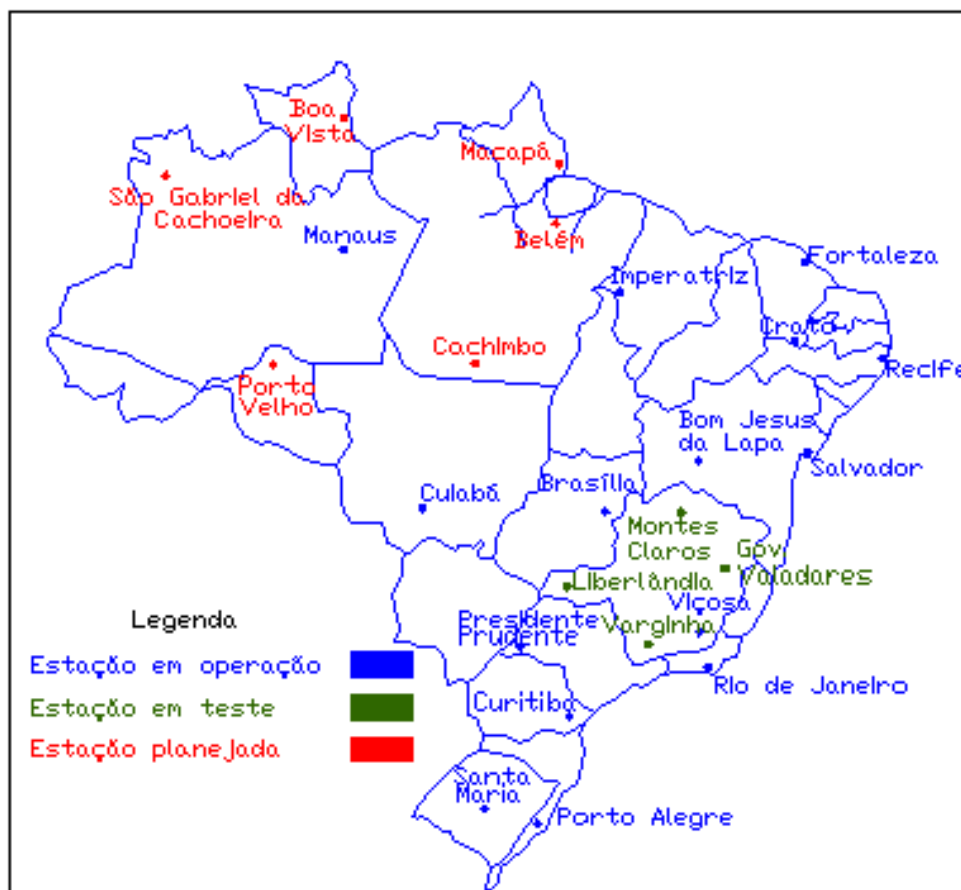


Figura 03 - Densificação RBMC

Fonte: IBGE, 2003.

É importante e urgente que também as estações pertencentes à RIBAC sejam homologadas pelo IBGE, a fim de tornar possível o georreferenciamento dos imóveis rurais, dentro da precisão exigida, em qualquer parte do território brasileiro.

Os dados disponíveis na RBMC podem ser acessados na internet, através do site [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br), utilizando-se o seguinte caminho: Geociências, Geodésia e RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo.

#### b) A RIBaC (Rede Incri de Bases Comunitárias do GPS)

A Rede INCRA de Bases Comunitárias do GPS - RIBaC é um conjunto de 44 (quarenta e quatro) estações de referência do GPS implantadas em diversos pontos do território brasileiro e tem o propósito de auxiliar a execução dos serviços de

agrimensura desenvolvidos, direta ou indiretamente, pelo INCRA, quando utilizando esta tecnologia(INCRA,2003).

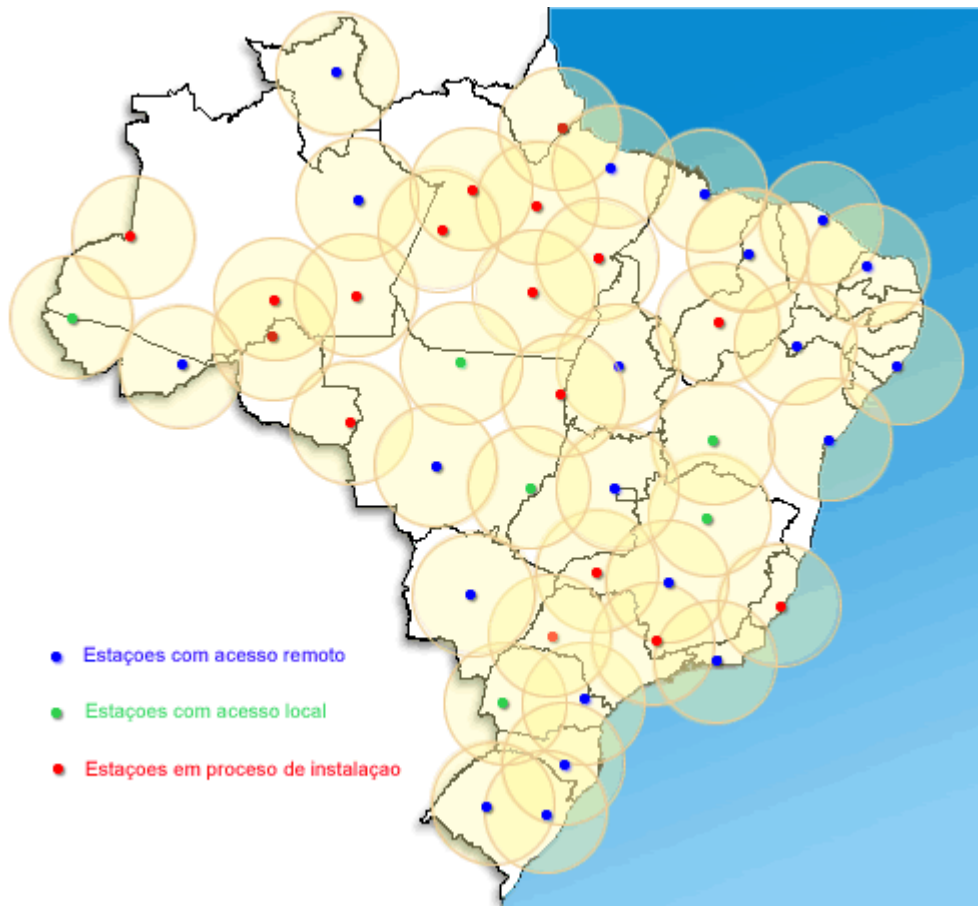


Figura 04 - Estações RIBaC  
Fonte:INCRA, 2003

As estações estão localizadas em unidades próprias do INCRA e, através de acordos, em Universidades Federais ou Estaduais e em sedes de Órgãos e Empresas Públicas e Privadas.

Permite efetuar correção diferencial das observações coletadas pelos receptores de sinais do GPS, em qualquer dia, a qualquer hora, em diversos lugares do Brasil, por equipamentos que possuam esse recurso.

Sendo constituída por receptores de frequência única (L1), sua utilização, para correção de observações oriundas da fase da onda portadora, deve ser feita

considerando-se a distancia máxima de linha de base recomendada pelo fabricante do aparelho receptor (em média 30 km).

Para a correção de observações obtidas pelo código C/A recomenda-se a utilização de dados de estações de referência que estejam à uma distância inferior a 300 km do usuário. O INCRA faz essas afirmações, mas não apresenta comprovação desses resultados.

Os dados disponíveis na RIBaC podem ser acessados na internet, através do site [www.incra.gov.br](http://www.incra.gov.br), utilizando-se o seguinte caminho: Serviços e Informações, RIBaC – Rede Incra de Bases Comunitárias do GPS e Acesso a RIBaC.

### 3. LEVANTAMENTO CADASTRAL

Do ponto de vista geodésico, o termo levantamento (*surveying*) é usado para designar os procedimentos de engenharia de medições com vistas à representação, numérica ou gráfica, de elementos da superfície terrestre ou parte dela. De uma maneira geral, e de acordo com o propósito, os levantamentos podem ser classificados em: levantamento ou mapeamento topográfico, levantamento de engenharia e levantamento cadastral. (BANNISTER et al, 1992 in BRANDÃO, 2003).

Normalmente, o termo levantamento cadastral é confundido com levantamento topográfico e serve também para caracterizar os levantamentos destinados à representação de determinadas feições da superfície terrestre. A NBR 13133 – Execução de levantamento topográfico, apresenta oito definições para levantamento e nenhuma delas concorda com o entendimento internacionalmente reconhecido.

Do ponto de vista internacional e de acordo com o conceito estabelecido pela FIG, o levantamento cadastral consiste nos procedimentos usados para caracterizar geodesicamente os pontos que definem os limites (estremas) de parcelas territoriais.

O levantamento topográfico cadastral tem por finalidade fixar por meio de plantas e documentos de medições, os limites das propriedades territoriais públicas e privadas com uma precisão que proporcione aos proprietários toda classe de garantias jurídicas, aproveitando tais levantamentos com uma meta fiscal (TRUTTMANN, 1996 in BRANDÃO, 2003).

MÜLLER (1953, p.231) ao comparar um levantamento topográfico qualquer com um levantamento topográfico cadastral de uma região, comenta que este último se ocupa principalmente da determinação e representação dos limites legais das parcelas, do cálculo das suas superfícies com base nas medidas diretas tomadas no terreno, da divisão das parcelas originadas por heranças, etc. Ambos os levantamentos, o topográfico e o topográfico cadastral devem estar relacionados a uma rede de pontos fixos no terreno, proporcionando-lhes a referência necessária para os elementos de controle.

Conforme HASENACK (2000), os levantamentos topográficos têm sido conduzidos sem um padrão específico. São referenciados a sistemas de coordenadas topográficas com origem arbitrária, inviabilizando o vínculo com propriedades lindeiras. Assim, o levantamento isolado deixa de situar a geometria do referido imóvel, no contexto de outros imóveis, num único sistema de coordenadas. Os levantamentos oriundos de sistemas isolados provocam duplicidade no levantamento de um mesmo limite contíguo, pertencente a dois imóveis. Cada levantamento dará origem a uma geometria diferenciada para o mesmo limite, mesmo que sejam usados equipamentos eletrônicos da mais alta precisão, hoje disponíveis no mercado. Os limites das parcelas de imóveis vizinhos não são comparados entre si nos Registros de Imóveis, permanecendo quase sempre uma lacuna técnica (oriunda dos levantamentos duplos em sistemas diferentes), tendo como resultado uma linha divisória com azimuth e distância descritos de forma diferente em cada título de propriedade. Mesmo assim, ambas acabavam merecendo, pela legislação na época, a possibilidade de gerar a matrícula do imóvel correspondente.

Com a efetiva aplicação da lei 10.267/01, esse problema deverá ficar resolvido nas áreas rurais, uma vez que a lei estabelece a obrigatoriedade do georreferenciamento, gerando-se, a partir daí, uma descrição única e inequívoca para a parcela.

O desenvolvimento e a consolidação da cultura metrológica vem se constituindo em uma estratégia permanente das organizações, uma vez que resulta em ganhos de produtividade, qualidade dos produtos e serviços, redução de custos e eliminação de desperdícios. A construção de um senso de cultura metrológica não é tarefa simples, requer ações duradouras de longo prazo e depende não apenas de treinamentos especializados, mas de uma ampla difusão dos valores da qualidade em toda a sociedade (INMETRO, 2000).

Como aplicação do aspecto metrológico na Geodésia, podem-se verificar os seguintes conceitos:

- Medição é um conjunto de operações que tem por objetivo determinar um valor de uma grandeza;

- Medir significa comparar o objeto da medida com um padrão. O resultado da medida se indica com um número e uma unidade, dependente do padrão usado;
- Aferição é o conjunto de operações que estabelece, em condições específicas, a correspondência entre os valores indicados por um instrumento de medir e os valores verdadeiros convencionais correspondentes da grandeza medida;
- Calibração é o conjunto de operações que estabelece, em condições específicas, a correspondência entre o estímulo e a resposta de um instrumento de medir.

Existem situações em que a metrologia não está tão bem conceituada, por não existir um padrão, é o que se observa nas medições de ângulos. Há um problema cultural com relação à metrologia, visto que muitos profissionais, das diversas áreas, não aferem seus equipamentos de medição. Um outro aspecto diz respeito à maioria dos levantamentos estarem dissociados das estruturas Geodésicas Brasileiras, ou seja, as redes de referência. As redes mais antigas são responsáveis por essa ligação.

As variáveis influentes no processo de medição devem ser estudadas, uma vez que, além dos erros aleatórios, o próprio equipamento gera um ruído interno. Na Geodésia, utiliza-se sempre do recurso geométrico, ou seja, fecha-se figuras para contornar situações. Quando não se contorna, repetem-se as observações.

Os aspectos legais devem ser observados sempre que possível, pois é uma linha de conduta genérica dentro de uma sociedade, para que sejam mantidos os padrões de qualidade nos processos de medição.

### **3.1 Métodos de levantamento cadastral**

Para HASENACK (2000), não existem no Brasil normas e procedimentos bem definidos para levantamentos topográficos cadastrais. Estes levantamentos são realizados geralmente em sistemas de coordenadas topográficas com origem

arbitrária, com diferentes métodos de levantamento, na maioria das vezes sem controle e, não se dando a devida importância aos originais de levantamento (croquis e cadernetas de campo).

Como já foi comentado no Capítulo 2, para a garantia dos limites geométricos dos bens imóveis deve-se dispor, em primeiro lugar, de um sistema de referência de medição (geodésico) único e com características próprias (SILVA et al, 1998). Este sistema permite um acompanhamento analítico da geometria das parcelas, devendo para isso existir um serviço oficial de levantamento e locação de limite de propriedade, no qual profissionais devidamente habilitados e tutelados pelo estado possam conduzir as solicitações de mudanças de limites. Deste modo, dispor-se-ia de um serviço de ligação geodésica entre os que provocam ou solicitam mudanças de propriedade e o Registro de Imóveis.

Entre os métodos de determinação de limites imobiliários, destacam-se como os mais utilizados o método polar, de alinhamento, ortogonal e GPS. Como a presente pesquisa trata da determinação de limites de imóveis rurais, serão descritos a seguir o método polar e o GPS, já que os demais se aplicam a áreas urbanas. Cada método possui características próprias, envolvendo particularidades como confecção de croqui e anotações de campo. Essas particularidades serão mostradas no desenvolvimento deste capítulo.

### 3.1.1 O método polar

O método polar está baseado na medição da direção e da distância de uma estação conhecida para um ponto objeto, em relação a uma referência fixa. Dessa forma, tem-se uma determinação única para cada ponto (KAHMEN & FAIG, 1988).

Para a medição dos ângulos pode-se utilizar teodolitos óticos-mecânicos ou eletrônicos e para medição das distâncias, pode-se utilizar como equipamentos: distanciômetro eletrônico, estação total ou trena.

A Figura 05 mostra o método aplicado ao levantamento dos limites de propriedade onde o ponto E1, ocupado com o equipamento de medição, é a estação conhecida, E1-E2 a direção de referência fixa e  $L_1$  e  $L_2$ , dois dos pontos definidores

dos limites de propriedade. Através de irradiação, mede-se o ângulo horizontal  $\varnothing_{L1}$  ou a diferença entre as duas direções e a distância horizontal  $d_{1-1}$ , para o limite  $L1$ . Este procedimento é repetido para os demais limites possíveis de serem levantados a partir desta estação.

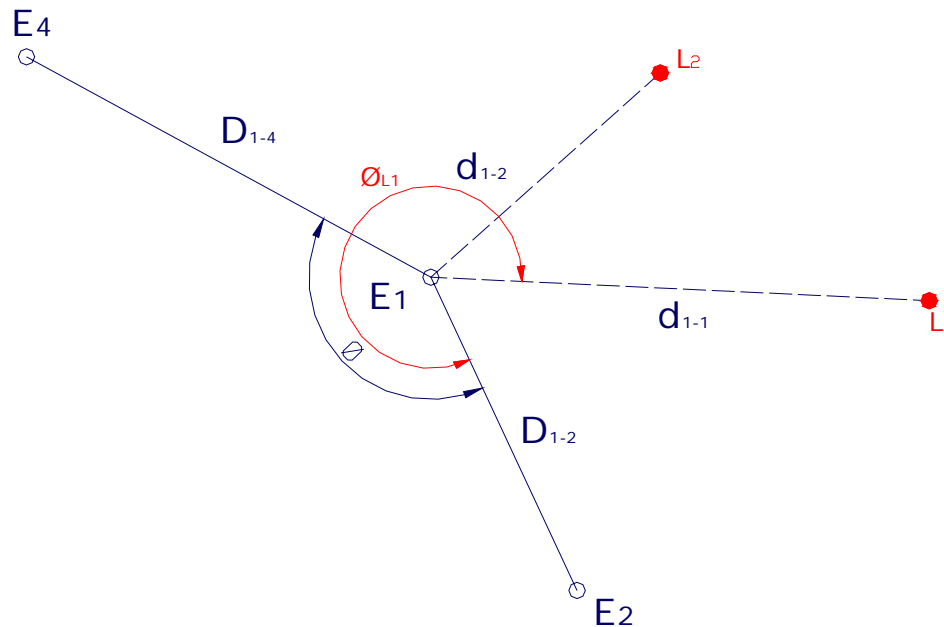


Figura 05 - Método polar

Para o cálculo das coordenadas plano-retangulares dos pontos definidores dos limites de propriedade utilizam-se as equações (1) e (2), que podem ser deduzidas a partir do esquema mostrado na Figura 06:

$$X_L = X_{Ei} + D_{i-L} \cdot \text{sen}(A_{Zi-L}) = X_{Ei} + D_{i-L} \cdot \text{sen}(A_{Zi} + \varnothing_L) \quad (1)$$

$$Y_L = Y_{Ei} + D_{i-L} \cdot \text{cos}(A_{Zi-L}) = Y_{Ei} + D_{i-L} \cdot \text{cos}(A_{Zi} + \varnothing_L) \quad (2)$$

Onde:  $X_L$  = abscissa do ponto de limite de propriedade

$X_{Ei}$  = abscissa da estação conhecida  $E_i$



$D_{i-L}$  = distância horizontal entre  $E_i$  e o ponto de limite

$Y_L$  = ordenada do ponto limite de propriedade

$Y_{Ei}$  = ordenada da estação conhecida  $E_i$

$A_{Zi-L}$  = azimuth da direção irradiada =  $A_{Zi} + \theta_L$  (para o limite de propriedade)

$A_{Zi}$  = azimuth da direção de referência =  $\arctg (X_{Ei} - X_{Er}) / (Y_{Ei} - Y_{Er})$

$\theta_L$  = ângulo irradiado para o limite de propriedade

$X_{Er}$  = abscissa da estação de referência (conhecida)

$Y_{Er}$  = ordenada da estação de referência (conhecida)

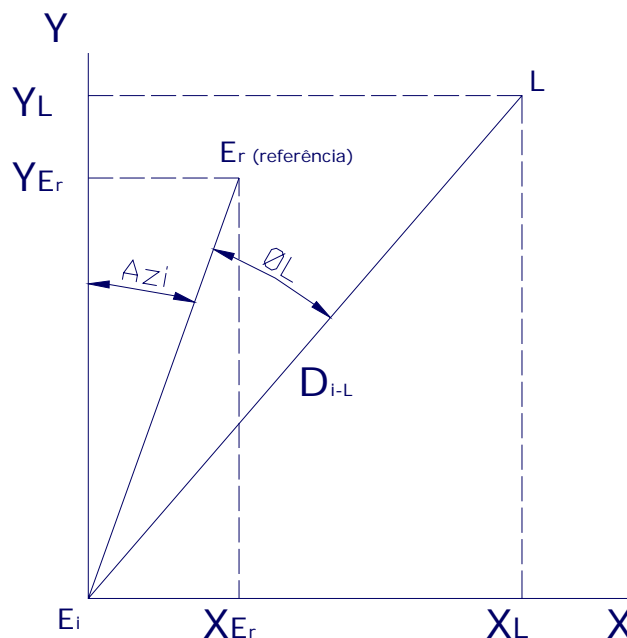


Figura 06 - Sistema de coordenadas plano-retangulares dos pontos limite de propriedade

### 3.1.2 Poligonação

De acordo com KAHMEN & FAIG(1988), uma poligonal consiste basicamente em um polígono irregular do qual são medidos os ângulos entre alinhamentos consecutivos e as distâncias entre os vértices vizinhos. A partir dessas medições, pode-se determinar as coordenadas retangulares dos vértices dessa poligonal.

Dependendo das particularidades de cada levantamento, pode-se utilizar os seguintes tipos de poligonal:

- Poligonal em anel (*ring traverse*);
- Poligonal em linha (*stretched traverse*);
- Poligonal em rede (*traverse net*).

A poligonal em anel utiliza o mesmo ponto fixo como ponto de partida e de chegada para o levantamento. Pode ser utilizada para delimitação de uma área ou ser usada como uma estrutura de apoio para o levantamento de detalhes dentro de uma determinada área.

O desenvolvimento de uma poligonal em linha começa e termina em pontos de coordenadas distintas. Já a poligonal em rede consiste em uma série de poligonais. Essas poligonais são estabelecidas ao longo do levantamento para permitir acessibilidade aos pontos a serem determinados e para obtenção de um melhor resultado para as coordenadas.

Para a poligonação, as coordenadas plano-retangulares da estação ou vértice observado são determinadas utilizando-se as equações (3) e (4), que podem ser deduzidas a partir do esquema ilustrado na figura 07:

$$X_{Ef} = X_{Ei} + D_{i-f} \cdot \text{sen}(A_{Zi-f}) = X_{Ei} + D_{i-f} \cdot \text{sen}(A_{Zi} + \vartheta_f) \quad (3)$$

$$Y_{Ef} = Y_{Ei} + D_{i-f} \cdot \text{cos}(A_{Zi-f}) = Y_{Ei} + D_{i-f} \cdot \text{cos}(A_{Zi} + \vartheta_f) \quad (4)$$

Onde:  $X_{Ef}$  = abscissa da nova estação  $E_f$

$X_{Ei}$  = abscissa da estação conhecida  $E_i$

$D_{i-f}$  = distância horizontal entre as estações vizinhas  $E_i$  e  $E_f$

$Y_{Ef}$  = ordenada da nova estação  $E_f$

$Y_{Ei}$  = ordenada da estação conhecida  $E_i$

$A_{Zi-f}$  = azimute da direção a vante =  $A_{Zi} + \vartheta_f$

$A_{zi}$  = azimute da direção de referência =  $\arctg (X_{Ei} - X_{Er}) / (Y_{Ei} - Y_{Er})$

$\theta_f$  = ângulo irradiado para a nova estação  $E_f$

$X_{Er}$  = abscissa da estação de referência (conhecida)

$Y_{Er}$  = ordenada da estação de referência (conhecida)

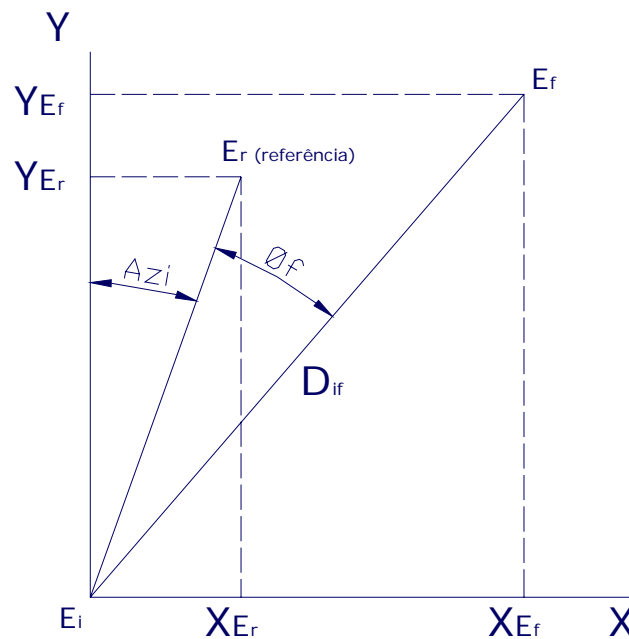


Figura 07 - Sistema de coordenadas plano-retangulares das estações da poligonal

### 3.1.3 Posicionamento por satélite

Segundo SEEBER (1993), o NAVSTAR GPS (NAVigation System with Time and Ranging Global Positioning System) é um sistema de navegação que utiliza sinais de rádio enviados por satélites artificiais, fornecendo aos usuários coordenadas tridimensionais precisas, além de informações sobre navegação e tempo, desde que se utilize equipamento apropriado.

#### a) Métodos de posicionamento

Posicionamento diz respeito à determinação da posição de objetos com relação a um referencial específico. Pode então ser classificado em absoluto,

quando as coordenadas estão associadas diretamente ao geocentro, e relativo, no caso em que as coordenadas são determinadas com relação a um referencial materializado por um ou mais vértices com coordenadas conhecidas. A posição do ponto é determinada no sistema de referência vinculado ao GPS, ou seja, WGS 84 (MONICO, 2000).

Existem três tipos de posicionamento GPS: posicionamento absoluto, posicionamento relativo e, ainda, posicionamento DGPS (*Differential GPS*).

No posicionamento absoluto, também denominado posicionamento por ponto, necessita-se apenas de um receptor. Esse método é bastante usado em navegação de baixa precisão e em levantamentos expeditos. Segundo Monico(2000), o posicionamento instantâneo de um ponto apresenta precisão melhor que 10m e, mesmo se a coleta de dados, sobre um ponto estacionário, for de longa duração, a qualidade dos resultados não melhora significativamente, em razão dos vários erros sistemáticos envolvidos na observável utilizada. Dessa forma, esse método não atende os requisitos de precisão intrínsecos ao posicionamento geodésico.

O objetivo do posicionamento relativo é a determinação do vetor entre duas estações, chamado linha de base. A posição de um ponto é determinada com relação à de outro(s), cujas coordenadas são conhecidas. Os elementos que compõem a linha de base (vetor que une dois vértices), ou seja,  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  e  $\Delta z$ , são estimados e, ao serem acrescentados às coordenadas da estação de referência (estação com coordenadas conhecidas de um levantamento anterior), proporcionam as coordenadas da estação desejada (MONICO, 2000). O processo necessita de:

- Dois ou mais receptores, de preferência com frequências L1 e L2, onde um deles é colocado sobre um ponto de coordenadas conhecidas e de boa qualidade;
- Rastreo, na mesma época, de no mínimo 4 satélites, comuns aos dois receptores.
- Programa computacional para o cálculo das coordenadas, no pós-processamento.

Atualmente, o posicionamento relativo é considerado como único processo a fornecer precisão de ordem milimétrica, ou seja, 1 ppm (1mm em 1000m), desde que sejam tomados os devidos cuidados nas observações (SANTOS, 2001).

Com o advento dos chamados Sistemas de Controle Ativos (SCA), um usuário que disponha de apenas um receptor poderá efetuar o posicionamento relativo, desde que acesse os dados de uma ou mais estações pertencentes ao SCA, no caso do Brasil, a RBMC ou, ainda, os dados da RIBAC, quando homologada pelo INCRA. Essas redes foram descritas nos itens 2.4.2.2.

Os métodos de posicionamento relativo podem ser: estático, estático rápido, semicinemático e cinemático.

O método estático é o único que oferece precisão geodésica. Para alcançar esta precisão, os receptores devem ter as duas frequências, L1 e L2, para as observações de fase. Consiste em rastrear duas estações por um determinado tempo, variando entre 10 minutos a algumas horas, dependendo do comprimento da linha de base, do número de satélites visíveis e da geometria dos satélites. É necessário, também, que não haja obstrução entre os receptores e os satélites e o ângulo de elevação seja em torno de 15° (Santos, 2001). A tabela 01 mostra a precisão do método, em função da extensão da linha de base, do número de satélites e do tempo de duração do rastreamento com condições atmosféricas normais.

Tabela 01 - Precisão do Posicionamento Estático

Precisão do posicionamento estático				
Frequência	Linha de base (Km)	Satélites	Seção (minutos)	Precisão (ppm)
L1	1	4	30	5 - 10
		5	15	
	5	4	60	5
		5	30	
	10	4	90	4
		5	120	
	20	4	90	3
L1 e L2	50	4	10	1,0
	100	5	60	0,1
	500	5	120	0,1 – 0,01

Fonte: Santos, 2001.p.212., adaptado para o trabalho

No posicionamento DGPS, um receptor GPS é colocado numa estação de referência. Diferenças são calculadas, quer seja entre as coordenadas estimadas e as conhecidas, quer entre as pseudodistâncias observadas e as determinadas a partir das posições dos satélites e da estação. Em intervalos pré-estabelecidos, 5 segundos, por exemplo, correções e suas variações, geradas a partir das diferenças, são transmitidas para os usuários da estação de referência, os quais as aplicam em suas soluções, melhorando a qualidade dos resultados. Em relação ao referencial, pode ser considerada uma técnica de posicionamento absoluto, pois proporciona as coordenadas com relação ao geocentro (MONICO, 2000).

Receptores de diferentes modelos ou fabricantes podem ser usados em um mesmo projeto. Entretanto, deve-se garantir a simultaneidade das observações através da seleção de intervalos de tempo apropriados entre épocas medidas (taxa de observação). Além disso, os fabricantes devem prover rotinas de conversão dos diferentes formatos de arquivos de observação gravados pelos diferentes receptores para um formato único. Geralmente adota-se o formato RINEX (Receiver INdependent EXchange Format ).

#### b) Variáveis influentes nas observáveis

As observáveis GPS, como toda medição, estão sujeitas aos erros grosseiros, sistemáticos e ruídos aleatórios. Esses erros podem ser provenientes dos satélites, da propagação do sinal ou dos receptores. Alguns erros, como os sistemáticos, podem ser modelados de forma a proporcionar correções nas observações das distâncias ou eliminados através de, por exemplo, técnicas apropriadas de observação e cuidados na execução do rastreamento. Erros aleatórios, por sua vez, não apresentam nenhuma relação funcional com as medidas e são normalmente, as discrepâncias remanescentes nas observações, depois que todos os erros grosseiros e sistemáticos forem eliminados ou minimizados. Eles são inevitáveis, sendo, portanto, considerados uma propriedade inerente da observação (MONICO, 2000).

Um erro muito fácil de ser cometido por um usuário que não tenha conhecimento necessário a respeito do sistema GPS, é realizar o rastreo próximo a superfícies refletoras, as quais produzem o efeito de multicaminho (multipath). Segundo SEEBER (2003), esse efeito significa que um ou mais sinais refletidos chegam ao receptor além do sinal direto emitido pelos satélites.

A reflexão pode ser causada por superfícies horizontais, verticais ou inclinadas, como mostra a figura 08. Observando a figura, nota-se que o sinal chega ao receptor por dois caminhos diferentes, um direto e um indireto, refletido em superfícies vizinhas a antena. Dessa forma, os sinais recebidos no receptor podem estar degradados, afetando a qualidade do posicionamento. Deve-se, então, considerar esses aspectos no momento da escolha dos locais de observação.

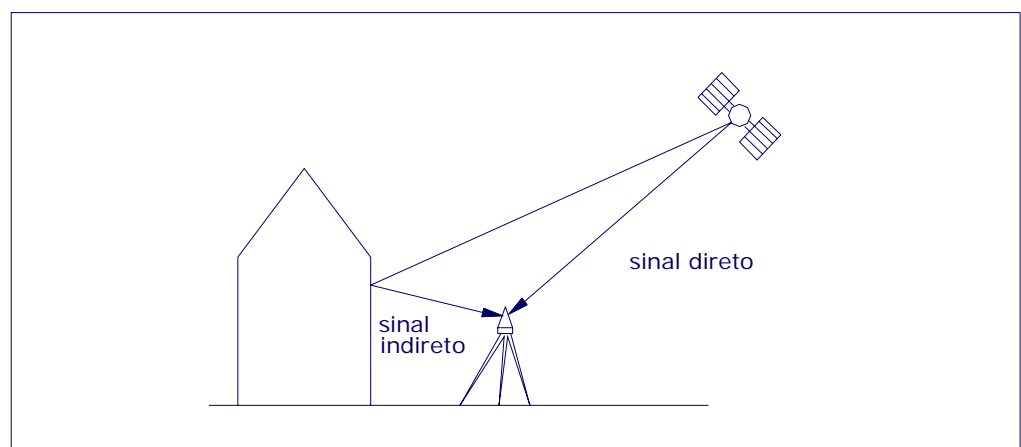


Figura 08 - Propagação Multicaminho

Fonte: Seeber, 1993.p.308, adaptada para o trabalho.

### 3.1.3.1 Geometrias usuais para levantamentos com GPS

Entre outros aspectos, as geometrias para levantamentos com GPS contribuem para os bons resultados e são úteis para as aplicações em projetos de engenharia e apoio a levantamentos cadastrais.

As disposições geométricas usuais das estações fixas e móveis em um levantamento GPS são a radial e rede. Além disso, também se pode falar em levantamento de poligonal com GPS.

A radial é formada com um receptor fixo, numa estação com coordenadas previamente determinadas, e outro móvel que se desloca para as posições novas (figura 09). Tipicamente, é a forma de levantamento para os métodos rápido e cinemático. O levantamento radial simples pode apresentar problemas pelo fato de medir as novas estações apenas uma vez. HOFMAM et al.(1997) e MONICO (2001) mostram cálculos para duas estações bem próximas entre si e distantes da base, em que a precisão da linha de base é ótima, e no entanto a determinação das coordenadas entre as estações fica com precisão abaixo do aceitável. Isto ocorre principalmente se foram levantadas em sessões diferentes, ou de um dia para outro.

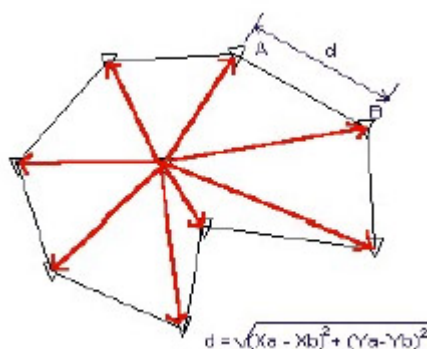


Figura 09 - Levantamento radial

Fonte: SILVA et al. (2003)

Porém, o levantamento radial com reocupações das estações novas a partir de outra base fornece observações extras, e eventuais erros significativos podem ser detectados (figura 10).



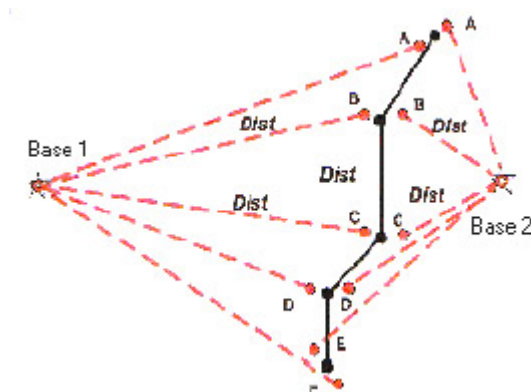


Figura 10 - Levantamento radial com bases transversais  
Fonte: ICSM, 2001

O levantamento de poligonais com GPS é similar ao método topográfico, onde, de cada estação se efetuam medições para a estação anterior e a seguinte. No caso do GPS, usando dois receptores, cada estação nova medida passa a ter a coordenada conhecida que servirá para a determinação da estação seguinte.

NABED et al. (2002), sugerem que a rede local tenha diversos pontos de referência, que chama pivôs, para serem usados como base para receptores móveis que levantarão pontos novos ( figura 11).

Se mais receptores estiverem em uso, as observações podem também ser ajustadas. A geometria de redes é formada por figuras fechadas e múltiplas ligações entre as estações (figura 12). Linhas de base independentes entre estações permitem a formação de laços (*loops*) que facilitam a detecção de erros. Esta geometria obtém as maiores precisões, com o ajustamento simultâneo de todas as linhas de base pelos mínimos quadrados.

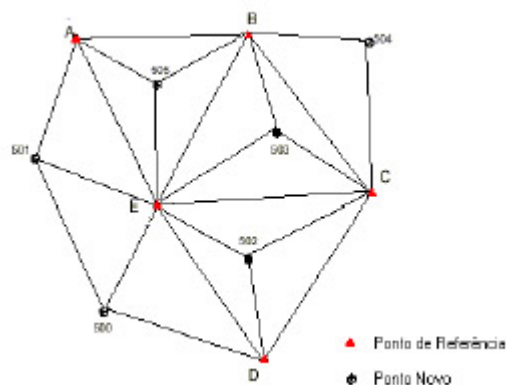


Figura 11 - Rede com adensamento a partir de pontos de referência local  
Fonte: Nabed et al. (2002)

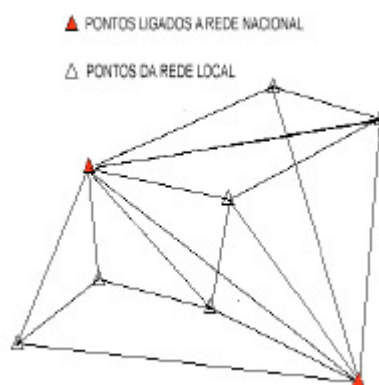


Figura 12 - Rede com adensamento a partir de pontos de referência local

Fonte: Silva(2003)

### 3.2 O profissional responsável pelos levantamentos para fins legais

A determinação dos limites legais dos imóveis deve ser considerado como um ato jurídico e, portanto, para sua autenticidade e segurança deve ser praticado por profissional que tenha atribuição legal. Assim, segundo PINTO(2001), o profissional responsável pelo Cadastro Imobiliário para fins de Registros Públicos deve ter uma Procuração Pública, com suporte legal similar aos Registradores, Notários e Tradutores Juramentados. Esses profissionais exercem suas atividades a partir de uma delegação do Poder Público. Alguns pesquisadores brasileiros (PHILIPS,1996; CARNEIRO,2000) baseados em experiências internacionais, defendem a existência desse profissional, através da sua formação com conhecimentos técnicos adequados para desempenhar atividades geodésicas em atendimento ao princípio de especialidade exigido pelo Registro de Imóveis. Esse tipo de profissional é comum nos países da Europa e em outros continentes. Para o aprimoramento dessa prática profissional, foi criada em 1994, na Europa, uma instituição denominada GE – *Géomètres Expert Fonciers Européens* representando os interesses dos profissionais autônomos credenciados para o exercício de atividades cadastrais.

PHILIPS (1996, p.II-180) afirma que um dos fatores que impossibilita o Brasil de instalar um Cadastro de Bens Imobiliários é a falta de técnicos formados em Cadastro Imobiliário e levantamento topográfico cadastral.

De acordo com ERBA & LOCH (1996), na República Argentina (e outros países da América Latina), o Agrimensor é o único profissional habilitado pelo conselho de profissionais para efetuar levantamentos territoriais. Conforme os mesmos autores, no caso do Brasil, “a falta de precisão na Lei (Federal), nº 5.194, de 24 de dezembro de 1966, habilita inúmeros profissionais a efetuarem levantamentos territoriais e de propriedades, os quais, por falta de qualificação dos executores acabam muitas vezes incrementando as dúvidas e confusões. Assim, Eng.º Cartógrafos, Eng.º Agrimensores, Eng.º Agrônomos, Eng.º Florestais, Eng.º Civis, Arquitetos, Técnicos de Nível Médio efetuam atos de levantamentos territoriais, amparados na ambigüidade da Lei e no conhecimento adquirido em um ou dois semestres da disciplina de Topografia de cursos extremamente técnicos que não tratam da questão de direito”.

Para o Cadastro Rural Brasileiro, mudanças significativas vêm sendo observadas a partir de uma nova mentalidade quanto à necessidade de qualidade nas medições geodésicas, objetivando uma gestão territorial eficiente. Com essas mudanças, sentidas mais precisamente a partir da aprovação, pelo Congresso Nacional, da Lei 10.267, sancionada em 28 de agosto de 2001, as preocupações com a formação profissional para as atividades cadastrais, tornaram-se mais efetivas, uma vez que a Lei, entre outros aspectos, exige a Anotação de Responsabilidade Técnica do profissional que executar o levantamento cadastral. Com isso, as atividades cadastrais deverão ser executadas por profissionais realmente habilitados e capacitados para esse fim, passíveis de responderem judicialmente por eventuais falhas ocorridas nos procedimentos técnicos.

De acordo com PINTO (2001), além da aprovação da Lei 10.267, apontada como mudança de mentalidade na realidade brasileira, outros aspectos, anteriores a esse fato, podem ser citados, como por exemplo:

- Criação das Normas Técnicas “Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento” (ABNT, 1998), que apresenta diretrizes para a densificação da rede geodésica brasileira para servir de amarração aos levantamentos cadastrais, com exigência de levantamentos executados de acordo com as normas NBR 13.133 (ABNT, 1994) e NBR 14.645-1 (ABNT, 2001) e

devidamente fiscalizados e sob responsabilidade técnica de profissional habilitado;

- Criação de novos cursos de nível médio, graduação e pós-graduação “latu sensu” e “stricto sensu”, relacionados às Ciências Geodésicas;
- Criação do programa de Pós-Graduação (mestrado em 1990 e doutorado em 2000) em Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial na Universidade Federal de Santa Catarina;

O INCRA elaborou, recentemente, um manual técnico intitulado Normas Técnicas para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais, aplicado à Lei 10.267, de 28 de agosto de 2001. Entre outros aspectos, essas normas evidenciam a questão da qualidade das medições geodésicas vinculadas ao profissional responsável pelos levantamentos cadastrais. Esses profissionais, para desempenharem as atividades necessárias ao georreferenciamento dos imóveis rurais, deverão ter registro no CREA – Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura e providenciarem junto ao INCRA o seu credenciamento, para posteriormente obter a certificação do seu trabalho. Com isso, espera-se que a realidade das atividades cadastrais brasileiras seja modificada, no sentido de que sejam padronizados os procedimentos técnicos e que não haja diversidade de profissionais atuando na área, muitos dos quais sem a qualificação adequada.

PINTO (2000) quando apresentou o profissional com procuração pública como responsável técnico pelo Cadastro Imobiliário para fins de Registro Público, salientou que, do ponto de vista internacional, o profissional atuante em atividades cadastrais possui uma formação tecnológica em ciências geodésicas e qualificação especializada em atividades cadastrais, onde em muitos países é exigida uma licença ou autorização para o exercício profissional e que esse credenciamento pode ser feito diretamente pelo poder público ou através de organizações profissionais. No Brasil, os profissionais que possuem uma formação mais próxima para atender às necessidades do Cadastro Imobiliário são os Engenheiros Cartógrafos e os Engenheiros Agrimensores, porém, sem que haja uma ênfase para exercer as atividades relacionadas ao Cadastro Imobiliário. Além disso, o contingente técnico formado pelas instituições de ensino é insuficiente para atender à demanda dos

serviços cadastrais no país, levando a realidade atual de que os serviços são executados por profissionais de outras áreas, sem qualificação adequada.

### **3.3 Normas Técnicas para execução de levantamentos cadastrais**

SILVA (2003) argumenta que os levantamentos com GPS no Brasil tiveram um crescimento significativo nos últimos anos. As aplicações vão desde levantamentos geodésicos de apoio e georreferenciamento em projetos de engenharia à substituição dos levantamentos tradicionais de topografia. Enfatiza, também, que faltam, no entanto, normas e especificações que detalhem o uso específico de GPS para cada uso e que orientem os usuários e contratantes de serviços. Com o objetivo de encontrar as soluções para este problema, em trabalho apresentado no XXI Congresso Brasileiro de Cartografia, Silva (2003) discute as normas do IBGE e do INCRA, únicas normas existentes no Brasil para GPS, e suas possíveis lacunas, em comparação com normas internacionais existentes. Desta comparação, observa-se que as normas brasileiras necessitam definir melhor quais as técnicas de levantamentos com GPS podem ser adequadas a cada classe de precisão e explicitar todos os conceitos envolvidos, como por exemplo: ajustamento pelos mínimos quadrados, precisão, exatidão, níveis de confiança e linhas de base independentes.

Atualmente, o fácil manejo dos receptores e programas de processamento, que têm tendência de superestimar a precisão, difundem o uso indiscriminado de métodos rápidos sem os devidos cuidados quanto ao tempo de rastreamento ou comprimento da linha de base.

Especificações, normas e instruções contêm regras de como os padrões podem ser atingidos. Os padrões, por sua vez, especificam as exatidões absolutas ou relativas de um levantamento, segundo LEICH(1995) in SILVA(2003). O conjunto de regras de uma especificação pode ser independente ou não do equipamento de medição e da metodologia do levantamento. No caso do GPS, uma tecnologia

recente que atinge facilmente precisões dez vezes melhores que as técnicas convencionais da topografia e geodésia, é natural que haja uma preocupação com a atualização de normas de levantamentos.

As normas de levantamentos usualmente empregam o princípio de qualidade e precisão dependente de distância (em partes por milhão ou erro relativo). Para o cadastro imobiliário, cujas exigências de precisão cresceram a partir da Lei 10.267/01, é importante considerar o atendimento ao princípio da vizinhança. Nesse caso, a exatidão de um ponto é classificada a partir da exatidão de outros pontos vizinhos. Caso esses pontos façam parte de uma rede local, a precisão é interna. Por outro lado, se essa rede for ligada a pontos de uma rede nacional, estes indicadores serão de exatidão. O GPS permite que haja uma grande precisão interna e uma rede local pode sofrer uma translação sem que aquela precisão seja prejudicada.

SILVA(2003) esclarece ainda que, além da falta de normas oficiais e divulgação de instruções específicas no Brasil, reconhece-se que a tecnologia é relativamente recente, faltam livros técnicos e manuais em português. Os treinamentos dados pelos fabricantes limitam-se, na maioria das vezes, à operação dos equipamentos. Neste contexto, incluem-se os clientes, que podem ter dificuldades em especificar os serviços de maneira adequada.

Com o objetivo de fomentar o aperfeiçoamento das normas oficiais brasileiras, uma discussão das normas nacionais e internacionais pode gerar a formação de um conjunto de procedimentos práticos que possam ser empregados com GPS para executar desde levantamentos expeditos até redes de alta precisão para locação de túneis ou linhas de metrô (SILVA 2003).

Do ponto de vista internacional, as normas, instruções e especificações para levantamentos com GPS, existentes, destinam-se a levantamentos de redes de controle geodésico e apoio a projetos de engenharia e cadastro. Dentre estas normas, pode-se citar:

1. *Geospatial Positioning Accuracy Standard*
2. *Standards and Guideliness for Cadastral Surveys using Global Positioning System Methods*
3. *Geometric Geodetic Accuracy Standards and Specifications for using GPS Relative Positioning Techniques*
4. *Standards and Practices for Control Surveys*

Ao comparar as normas brasileiras com as internacionais, SILVA (2003), observa que as normas brasileiras necessitam definir melhor, e de forma abrangente, as técnicas de levantamentos com GPS que podem ser adequadas a cada classe de aplicação ou precisão e explicitar todos os conceitos envolvidos no levantamento, como por exemplo: ajustamento pelos mínimos quadrados, precisão, nível de confiança e linhas de base independentes. Faz também, as seguintes observações, que podem ser muito úteis para o planejamento e resultados obtidos de levantamentos GPS: o uso de ajustamento pelo MMQ e análise de erros por elipses, elipsóide e nível de confiança, como exigidos em todas as normas internacionais, não fazem parte ainda do dia a dia dos levantamentos nacionais. Até mesmo a disciplina Ajustamento de Observações só é ensinada no curso de Engenharia Cartográfica, alguns de Agrimensura e de pós-graduação. No entanto, existem livros como GEMAEL (1994) e DALMOLIN (2001), disponíveis em português, de excelente qualidade. Observa ainda, que as normas internacionais exigem sempre o uso de redes locais que serão ligadas à Rede Nacional.

### **3.4 As normas do INCRA para georreferenciamento de imóveis rurais**

A Norma Técnica para Georeferenciamento de Imóveis Rurais, tem o propósito de orientar os profissionais na demarcação, medição e georreferenciamento de imóveis rurais visando o atendimento da Lei 10.267, de 28 de agosto de 2001, e foram elaboradas tomando como base o Manual Técnico de Cartografia Fundiária do INCRA, aprovado pela Portaria Ministerial nº 547, de 26 de abril de 1988 (INCRA, 2003).

De acordo com o INCRA, os objetivos dessa norma são os seguintes:

- Estabelecer os preceitos gerais e específicos aplicáveis aos serviços que visam a caracterização e o georreferenciamento de imóveis rurais, pelo levantamento e materialização de seus limites legais, feições e atributos associados;
- Proporcionar aos profissionais que atuam nessa área, padrões claros de precisão e acurácia para a execução de levantamentos topográficos voltados para o georreferenciamento de imóveis rurais;
- Assegurar a homogeneidade e a sistematização das operações geodésicas, topográficas e cadastrais bem como as representações cartográficas decorrentes dessa atividade permitindo a inserção desses produtos no Sistema Nacional de Cadastro Rural – SNCR bem como no Cadastro Nacional de Imóveis Rurais – CNIR;
- Garantir ao proprietário confiabilidade na geometria descritiva do imóvel rural, de forma a dirimir conflitos decorrentes de sobreposições de limites dos imóveis lindeiros.

Para efeito dessa norma, independente da técnica utilizada, os levantamentos são classificados em levantamento de controle e levantamentos cadastrais. O levantamento de controle fornece uma rede de pontos com coordenadas tridimensionais, destinadas à utilização em outros levantamentos de ordem inferior. São obrigatoriamente submetidos às reduções geodésicas. Os cadastrais são destinados ao levantamento dos limites definidores das propriedades rurais, de sua superfície topográfica, de seus acidentes naturais, artificiais e culturais. Ambos têm seus níveis de precisão definidos na Tabela 02.

Tabela 02: Classes de acordo com a precisão planimétrica (P) após ajustamento

1 Classe	2 Precisão <b>68,7 % ( 1 <math>\sigma</math> )</b>	3 Finalidade
<b>P1</b>	+/- 100mm	Controle A (apoio básico), Georreferenciamento
<b>P2</b>	+/- 200mm	Controle B (apoio imediato), Georreferenciamento
<b>P3</b>	+/- 500mm	Cadastrais , Georreferenciamento

Fonte - INCRA, 2003



A Lei 10.267/01 estabelece o georreferenciamento de imóveis rurais com precisão posicional, fixada pela Portaria INCRA n.954/2002, de 0,50m na resultante do par de coordenadas dos vértices que delimitam os imóveis.

A precisão posicional é entendida, para fins da norma do INCRA e de aplicação da Lei 10.267/01, como o valor do desvio padrão da determinação das coordenadas de cada vértice e retrata o grau de aderência entre os valores observados, sua repetibilidade ou grau de dispersão:

O valor do desvio padrão corresponde a uma probabilidade de aproximadamente 68% de certeza da localização do ponto.

### **3.5 O Sistema Cartográfico Nacional**

A Cartografia preocupa-se com a representação da superfície da Terra, de uma maneira clara e objetiva que trate com fidelidade as informações espaciais. Existem diversas formas de se representar esta superfície, como por exemplo, mapas e cartas, que apresentam uma forma prática e satisfatória para os usuários manipularem as informações cartográficas.

Como a superfície terrestre não é plana, a cartografia utiliza-se de artifícios para representar as informações no plano. As funções matemáticas que relacionam os pontos de uma superfície, de referência (esfera ou elipsóide), a uma superfície de projeção (plana, cilíndrica ou cônica) são definidas com Projeções Cartográficas.

O Sistema Cartográfico Nacional adota, para a cartografia terrestre básica, nas escalas de 1: 250.000 até 1: 25.000, a projeção UTM (Universal Transversa de Mercator). As cartas com escalas superiores (1: 10.000, 1: 5.000, 1: 2.000, etc), nas quais incluem-se as cartas cadastrais, não possuem regulamentação sistemática no Brasil. Apesar dessa ausência de sistematização o INCRA adota, para a execução do cálculo de coordenadas, distância, área e azimuth, o plano de projeção UTM. Dessa forma todos os cálculos, visando atender a medição, demarcação e

georreferenciamento de imóveis rurais deverão ser realizados neste plano de projeção UTM (INCRA, 2003).

Segundo PHILLIPS (1997), uma projeção de rede de referência do cadastro imobiliário deve conter as seguintes características:

- A deformação projetiva deve ser mínima, na ordem de poucos centímetros para um quilômetro de distância ou no máximo  $200\text{m}^2$  para um quilômetro quadrado;
- Para medições locais o sistema de coordenadas deve ser uma referência plana sem a necessidade de calcular correções, nem para distâncias nem para áreas;
- O cálculo numérico da projeção deve ser fácil, em tempo real, sem uso de tabelas, mesmo se o número de pontos a transformar for grande.

“Estas condições não são assumidas pelo Sistema UTM. Na especificação de áreas de parcelas (lotes ou glebas), a projeção UTM causa um erro de área de  $2.000\text{m}^2$  por  $\text{km}^2$  em comparação com o valor verdadeiro da superfície”. Porém, aplicando-se o fator de escala praticamente elimina-se esse erro.

#### **4. CONTROLE DE QUALIDADE NA DETERMINAÇÃO DE LIMITES DE IMÓVEIS RURAIS**

De acordo com MONICO (2003), os problemas tratados pela Geodésia envolvem a estimação de parâmetros incógnitos, os quais são obtidos a partir de dados experimentais. A cada observação coletada corresponde uma expressão, linear ou não, envolvendo os parâmetros de interesse.

Dentro deste contexto, podemos citar, como exemplos de problemas geodésicos apresentados neste trabalho de pesquisa, a determinação das coordenadas dos pontos pertencentes a uma rede de apoio ao levantamento dos pontos que delimitam uma propriedade.

Conforme mencionado no capítulo anterior, utilizou-se na coleta de dados uma estação total. Os dados coletados podem estar eivados de erros sistemáticos, grosseiros e aleatórios. Ao serem coletados dados em número maior que o necessário, conduz-se a um modelo matemático com dados redundantes, enquanto que, ao contrário, conduz-se a um modelo indeterminado.

MONICO (2003) afirma que ao estabelecer a relação entre observações e parâmetros, o geodesta está definindo o modelo matemático funcional. A presença de observações adicionais possibilita a aplicação de controle de qualidade aos resultados do experimento, pois através da redundância pode-se detectar erros no modelo ou no próprio levantamento. Essa conduta imprime confiabilidade ao levantamento e é extremamente importante, pois caso contrário não há ajustamento e ajustamento só se tem com observações redundantes.

Os aspectos relacionados com confiabilidade devem ser de extrema importância, porém às vezes são negligenciados. Deve-se estar atento aos diversos fatores externos que podem influir no processo de medição. E, caso não sejam tomados os devidos cuidados na realização da coleta de dados, a qualidade das observações poderá ser afetada.

Segundo CAMARGO (1999), o ajustamento de observações é um ramo da matemática aplicada. Tem por objetivo proporcionar uma solução única para problemas onde o número de observações (ou medidas) é redundante, bem como a estimativa da precisão da solução adotada. A inconsistência do sistema de equações é devida às flutuações probabilísticas das observações e faz com que um determinado subconjunto de dados proporcione valores diferentes de um outro subconjunto. A solução única, nesses problemas, é dada pelo Método dos Mínimos Quadrados - MMQ. Esse método foi desenvolvido, independentemente, por Gauss, em 1795 e Legendre, em 1805.

Para GEMAEL (1984), a partir das observações redundantes sujeitas a flutuações probabilísticas e de uma estimativa de sua precisão, o ajustamento tem por objetivo:

- Estimar, mediante a aplicação de modelos matemáticos adequados e do MMQ, um valor único para cada uma das incógnitas do problema;
- Estimar a precisão de tais incógnitas e a eventual correlação entre elas.

#### **4.1 Ajustamento – Método Paramétrico**

A característica que distingue o método dos mínimos quadrados de outros métodos é que as distâncias, ângulos e direções observadas são ajustadas simultaneamente (WOLF, 1996).

Podem ser impostas restrições nos parâmetros envolvidos no ajustamento, designadas por injunções. Quando um parâmetro é mantido fixo no ajustamento, tem-se a injunção designada de absoluta e a variância do parâmetro é nula (CAMARGO, 1999).

Quando as equações no modelo não são lineares, faz-se uma expansão em série de Taylor. Sendo então exigido para os modelos linearizados, um conjunto de valores aproximados ( $X_0$ ) para as incógnitas. A escolha desses valores representa um importante aspecto para solução do problema. Para escolha desses valores

pode-se adotar diversos caminhos. Utilizaram-se, para este trabalho, cálculos a partir dos valores observados, conforme descritos no capítulo 6.

No caso de modelos não lineares, não se pode admitir como valores ajustados finais, aqueles obtidos na primeira etapa do ajustamento. É necessária a realização de iterações. Para isso, deve ser estabelecido critério de convergência, a fim de decidir-se sobre o término da iteração (MIKHAIL, 1976).

O método paramétrico é também designado como ajustamento de observações indiretas, ou ainda, como método das equações de observações. Cada observação proporciona uma equação. Denotando-se por  $n$  o número total de observações, tem-se, então,  $n$  equações. As equações serão de tal forma, que se pode explicitá-las em função dos  $u$  parâmetros envolvidos (CAMARGO, 1999).

O modelo matemático é composto por  $L_a = F(X_a)$ , onde:

$L_a$  = vetor ( $n \times 1$ ) das observações ajustadas;

$X_a$  = vetor ( $u \times 1$ ) dos parâmetros ajustados;

$F$  = função que relaciona  $L_a$  com  $X_a$ .

No processo de linearização, utilizaram-se os valores aproximados ( $X_0$ ), descrito anteriormente, para os parâmetros incógnitos  $X_a$ , como ponto de expansão da função  $F(X_a)$ , na série de Taylor.

Seja, então  $L_a = L_b + V$ , onde: ( 5 )

$L_b$  = vetor ( $n \times 1$ ) dos valores observados;

$V$  = vetor ( $n \times 1$ ) dos resíduos.

Pode-se escrever que:  $L_b + V = F(X_a)$ . ( 6 )

Linearizando a segunda parcela da equação com a série de Taylor tem-se que:

$$L_b + V = F(X_0) + \left. \frac{\partial F}{\partial X_a} \right|_{X_0} \quad ( 7 )$$

Designando a função dos parâmetros aproximados por  $L_0$  ( $L_0 = F(X_0)$ ) e a matriz das derivadas parciais das equações em relação aos parâmetros, por  $A$ , tem-se que:

$$L_b + V = L_0 + AX \quad \text{ou} \quad V = AX + L_0 - L_b \quad (8)$$

Representando a diferença entre  $L_0$  e  $L_b$  por  $L$ , obtém-se então o modelo matemático linearizado do método paramétrico, ou seja:

$V = AX + L$ , onde  $X$  representa o vetor das correções dos parâmetros aproximados.

Aplicando-se o MMQ, onde  $\phi = V^T P V = \text{mínimo}$ , obtém-se :

$X = -(A^T P A)^{-1} A^T P L$ , onde  $P$  é a matriz dos pesos. No experimento realizado, admitiu-se o peso como o inverso da variância considerada, tomando-se os desvios padrão da estação total utilizada. Para as observações lineares adotou-se  $\sigma = 0,05\text{m}$  e para as observações angulares tomou-se  $\sigma = 60''$ . Esses valores refletem a falta de calibração do equipamento.

As componentes do vetor  $X$  convertem os parâmetros aproximados ( $X_0$ ) em ajustados, logo:

$X_a = X_0 + X$ , onde  $X_a$  representa o vetor dos parâmetros ajustados, o que se procura no ajustamento.

Depois de terminado o ajustamento pelo método dos mínimos quadrados, os desvios padrão, das coordenadas ajustadas das estações, podem ser obtidos a partir dos elementos da diagonal da matriz variância-covariância. Esses desvios padrão fornecem os erros estimados nas direções dos eixos de referência do sistema de coordenadas. Numa representação gráfica, esses erros representam a metade das dimensões dos lados de um retângulo centrado em cada ponto, chamado *retângulo de erros*, como ilustra a figura 13. Porém, esta não é a representação verdadeira dos erros presentes na estação (WOLF, 1996).

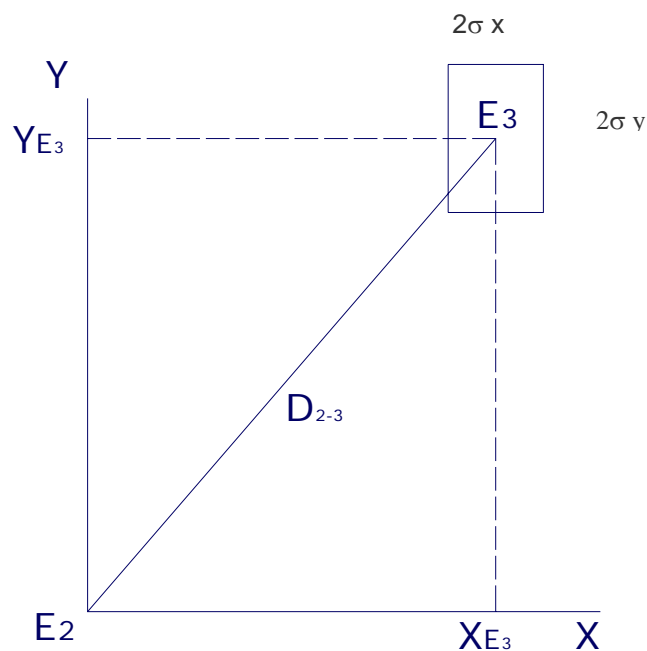


Figura 13 - Retângulo de erro padrão da estação E3

Fonte: WOLF, 1996.p.358. (adaptada para o trabalho)

Sendo assim, a incerteza com que se conhece a posição de um ponto é determinada normalmente através dos desvios padrão das suas coordenadas na direção paralela à abscissa ( $\sigma_x$ ) e na direção paralela a ordenada ( $\sigma_y$ ). Para as outras direções demonstra-se que a região de incerteza está compreendida dentro de uma curva que muito se aproxima a uma elipse, conhecida como *elipse de erros*. A figura 14 ilustra essa região de incerteza.

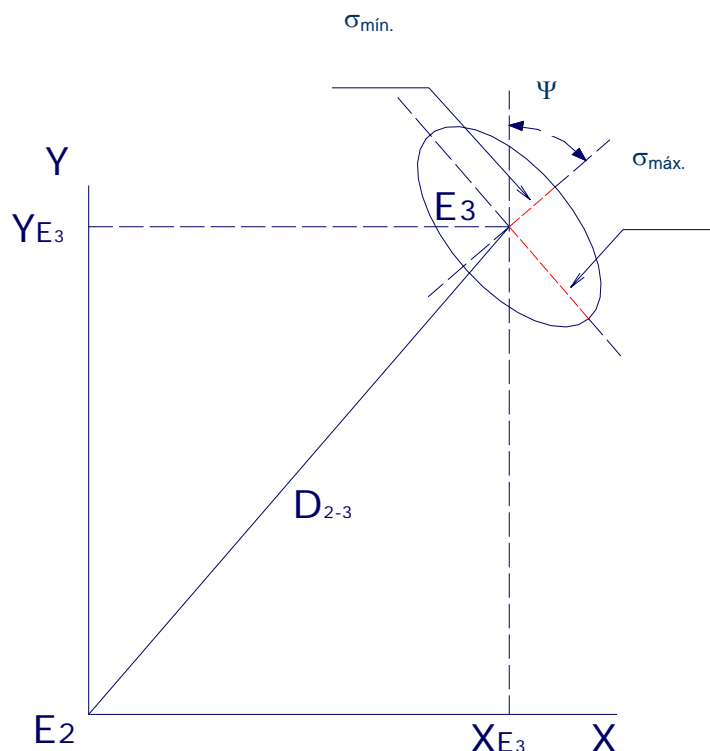


Figura 14 - Elipse de erro padrão da estação E3

Fonte: WOLF, 1996.p.358. (adaptada para o trabalho)

Os parâmetros que definem essa elipse são os semi-eixos maior, menor e a orientação, definida pelo ângulo de rotação ( $\Psi$ ) do semi-eixo menor em relação ao eixo das ordenadas do sistema de referência. O semi-eixo maior ( $\sigma_{\text{máx.}}$ ) representa a direção em que se espera um erro máximo para as coordenadas da estação, enquanto que o semi-eixo menor ( $\sigma_{\text{mín.}}$ ) indica a direção de erro mínimo. Esses valores de máximo e mínimo podem ser calculados utilizando-se os elementos da matriz variância-covariância (WOLF, 1996).

Como indicador da qualidade do conjunto de valores das coordenadas ajustadas de cada estação da rede de apoio ao levantamento dos limites, utilizaram-se apenas os desvios padrão nas direções x e y. Esses desvios padrão foram empregados para a determinação da incerteza posicional dos pontos que delimitam a propriedade, através da lei de propagação das variâncias, para fins de verificação dos 50 centímetros exigidos pela lei.



Para o cálculo do ajustamento, foram utilizadas as seguintes equações de observação:

▪ Distâncias 
$$L_n + V_n = \sqrt{(X_f - X_i)^2 + (Y_f - Y_i)^2} \quad (9)$$

▪ Ângulos 
$$L_n + V_n = \operatorname{tg}^{-1} \frac{X_k - X_i}{Y_k - Y_i} - \operatorname{tg}^{-1} \frac{X_j - X_i}{Y_j - Y_i} \quad (10)$$

Diferença de Azimutes

Fazendo:

$$d_1 = \sqrt{(X_{A1} - X_{E3})^2 + (Y_{A1} - Y_{E3})^2} \quad \alpha_{15} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{X_{E3} - X_{A1}}{Y_{E3} - Y_{A1}} - \operatorname{tg}^{-1} \frac{X_{A5} - X_{A1}}{Y_{A5} - Y_{A1}}$$

Aplicando a série de Taylor e linearizando:

$$L_1 + V_1 = d_1 + \frac{(X_{A1} - X_{E3})}{d_1} dX_{A1} + \frac{(X_{E3} - X_{A1})}{d_1} dX_{E3} + \frac{(Y_{A1} - Y_{E3})}{d_1} dY_{A1} + \frac{(Y_{E3} - Y_{A1})}{d_1} dY_{E3}$$

$$\begin{aligned} L_{15} + V_{15} = \alpha_{15} &+ \left( \frac{Y_{A1} - Y_{A5}}{d_2^2} \right) dX_{A5} + \left( \frac{Y_{A1} - Y_{E3}}{d_1^2} - \frac{Y_{A1} - Y_{A5}}{d_2^2} \right) dX_{A1} + \left( \frac{Y_{A1} - Y_{E3}}{d_1^2} \right) dX_{E3} + \dots \\ &\dots + \left( \frac{X_{A5} - X_{A1}}{d_2^2} \right) dY_{A5} + \left( \frac{X_{E3} - X_{A1}}{d_1^2} - \frac{X_{A5} - X_{A1}}{d_2^2} \right) dY_{A1} + \left( \frac{X_{A1} - X_{E3}}{d_1^2} \right) dY_{E3} \end{aligned}$$

## 4.2 A lei de propagação de erros

Todas as observações realizadas em um determinado levantamento estão sujeitas a erros provenientes de várias fontes. Por exemplo, ao se utilizar um instrumento para medir um determinado ângulo, uma das maiores fontes de erro pode ser proveniente da centragem e nivelamento do equipamento, erro de colimação, entre outros. Entretanto, nem sempre as fontes de erro são conhecidas, tendo-se, então, de tomar grande cuidado ao serem feitas as medições, uma vez que esses erros podem ocasionar falsos resultados.

Os erros das observações podem ser classificados em aleatórios, sistemáticos e grosseiros. Os erros aleatórios são inevitáveis, eles são tratados como variáveis aleatórias, seguindo, portanto, funções estatísticas. Na teoria da estimação e de testes estatísticos, esses erros são, em geral, considerados como tendo distribuição normal.

De acordo com MONICO(2001), os erros sistemáticos ou *bias* (tendências) apresentam-se como a diferença entre o modelo funcional e a realidade. Teoricamente é possível eliminar estes erros pelo refinamento do modelo matemático, mas muito difícil na prática. Os erros grosseiros resultam de mal funcionamento dos aparelhos ou problemas relacionados ao fator humano. Como exemplo típico cita-se: falta de atenção do operador num procedimento operacional. No mínimo, os erros grosseiros podem ser evitados se cuidados especiais forem tomados.

Esta descrição dos erros é muito importante para a compreensão dos modelos de ajustamento, mas não ajuda no desenvolvimento de uma estratégia para a detecção dos erros. Isso se deve ao fato da impossibilidade de separar os erros no mundo real de acordo com sua classificação. O processo de estimação proporciona resíduos que possuem uma mistura de todos os tipos de erros.

Freqüentemente, nos processos de medição dos levantamentos, as quantidades medidas diretamente no campo são utilizadas para que sejam determinadas outras quantidades. Sendo assim, as quantidades calculadas são

expressas como função matemática das medições realizadas diretamente no campo. Se as medições de campo contêm erros, fatalmente as quantidades calculadas a partir dessas medições conterão erros também. Logo, a determinação dos erros nas quantidades calculadas como função dos erros das quantidades medidas é chamada de propagação de erros.

Para MONICO (2001), os problemas tratados pela Geodésia, tal como em algumas outras ciências, envolvem a estimação de parâmetros incógnitos, os quais são obtidos a partir de dados experimentais. A cada observação coletada corresponde uma expressão, linear ou não, envolvendo os parâmetros de interesse. Como exemplo de um problema geodésico pode citar-se a determinação de coordenadas das estações de uma poligonal que delimita uma propriedade. Neste caso as observações são coletadas, com uma estação total, receptores GPS, dentre outras possibilidades (dados experimentais). No ajustamento, essas observações são expressas em função das coordenadas das estações (parâmetros). Os dados coletados podem estar contaminados por erros sistemáticos e grosseiros, além dos inevitáveis erros aleatórios. Esses últimos constituem numa característica das observações, as quais podem ser coletadas em número maior ou menor que o mínimo necessário para solução única do problema. Enquanto o primeiro caso conduz a um modelo matemático com dados redundantes, o segundo proporciona um modelo indeterminado.

TEUNISSEN (1989) afirma que, ao estabelecer a relação entre observações e parâmetros, o geodesta está definindo o modelo matemático funcional. A redundância de dados (ou presença de informações adicionais) possibilita a aplicação de controle de qualidade aos resultados do experimento. Na prática, o controle de qualidade já se inicia na fase do planejamento, o qual em se tratando de um levantamento geodésico envolve três fatores: economia, precisão e confiabilidade.

Dentro deste contexto, um experimento ideal deve apresentar confiabilidade e precisão máxima a um custo mínimo. Economia expressa os custos das observações, transporte, monumentação, etc. Precisão, a qual é dada pela matriz variância-covariância dos parâmetros (coordenadas), representa a característica do

levantamento em propagar erros aleatórios. Admite-se neste caso, a inexistência de erros sistemáticos. A confiabilidade está relacionada com a habilidade das observações redundantes em detectar erros no modelo e no próprio levantamento. Desta forma, no planejamento de levantamentos, os aspectos relacionados com confiabilidade são de extrema importância, muito embora às vezes sejam negligenciados. A coleta de dados deve ser realizada com todo o cuidado e de acordo com o planejado. Mas mesmo assim, vários fatores externos afetam a qualidade das observações. Por fim, a precisão obtida no processo de ajustamento deve ser avaliada com bastante rigor. Em Geodésia, quando se objetiva dispor de informações de qualidade de um levantamento, o mesmo deve ser ajustado (MONICO, 2001).

#### 4.2.1 Aplicação da lei de propagação de erros nas coordenadas dos limites de propriedade

a) Modelo Matemático para o cálculo das coordenadas dos limites:

Sejam  $(F_1)$  e  $(F_2)$  as funções que representam as coordenadas Este e Norte, respectivamente, dos pontos limite de propriedade, expressas pelos modelos matemáticos das equações (11) e (12):

Este  $(F_1)$

$$\begin{aligned} X_L &= X_i + d_{iL} \cdot \text{sen}(Az_{iL}) \\ X_L &= X_i + d_{iL} \cdot \text{sen}(\alpha_0 + \alpha_L) \end{aligned} \quad (11)$$

Norte  $(F_2)$

$$\begin{aligned} Y_L &= Y_i + d_{iL} \cdot \cos(Az_{iL}) \\ Y_L &= Y_i + d_{iL} \cdot \cos(\alpha_0 + \alpha_L) \end{aligned} \quad (12)$$

Onde:

$X_L$  = abscissa do ponto limite irradiado da estação

$X_i$  = abscissa da estação ocupada com o taqueômetro

$Y_L$  = ordenada do ponto limite irradiado da estação

$Y_i$  = ordenada da estação ocupada com o taqueômetro

$d_{iL}$  = distância horizontal da estação ao limite irradiado

$Az_{iL}$  = azimute do ponto de limite irradiado =  $Az_{iL} = Az_0 + \alpha_L$

$Az_0$  = azimute de partida =  $\arctg (X_j - X_i)/(Y_j - Y_i) = \alpha_0$

$X_j$  = abscissa da estação de ré

$Y_j$  = ordenada da estação de ré

$\alpha_L$  = ângulo horizontal irradiado para o ponto de limite

a1) Lei de Propagação de Erros (KAHMEN, 1988.p.14.)

$$\sigma_{X_L}^2 = \left( \frac{\partial F_1}{\partial X_i} \right)^2 \cdot \sigma_{X_i}^2 + \left( \frac{\partial F_1}{\partial d_{iL}} \right)^2 \cdot \sigma_{d_{iL}}^2 + \left( \frac{\partial F_1}{\partial \alpha_0} \right)^2 \cdot \sigma_{\alpha_0}^2 + \left( \frac{\partial F_1}{\partial \alpha_L} \right)^2 \cdot \sigma_{\alpha_L}^2 \quad (13)$$

$$\sigma_{Y_L}^2 = \left( \frac{\partial F_2}{\partial Y_i} \right)^2 \cdot \sigma_{Y_i}^2 + \left( \frac{\partial F_2}{\partial d_{iL}} \right)^2 \cdot \sigma_{d_{iL}}^2 + \left( \frac{\partial F_2}{\partial \alpha_0} \right)^2 \cdot \sigma_{\alpha_0}^2 + \left( \frac{\partial F_2}{\partial \alpha_L} \right)^2 \cdot \sigma_{\alpha_L}^2 \quad (14)$$

Onde:

$\partial F_1 / \partial X_i$  = derivada parcial da função  $F_1$  em relação à abscissa da estação ocupada com o taqueômetro.

$\partial F_1 / \partial d_{iL}$  = derivada parcial da função  $F_1$  em relação à distância entre a estação e o limite irradiado.

$\partial F_1 / \partial \alpha_0$  = derivada parcial da função  $F_1$  em relação ao azimute de partida.

$\partial F_1 / \partial \alpha_L$  = derivada parcial da função  $F_1$  em relação ao ângulo horizontal irradiado para o limite.

$\partial F_2 / \partial Y_i$  = derivada parcial da função  $F_2$  em relação à ordenada da estação ocupada com o taqueômetro.

$\partial F_2 / \partial d_{iL}$  = derivada parcial da função  $F_2$  em relação a distância entre a estação e o limite irradiado.

$\partial F_2 / \partial \alpha_0$  = derivada parcial da função  $F_2$  em relação ao azimute de partida.

$\partial F_2 / \partial \alpha_L$  = derivada parcial da função  $F_2$  em relação ao ângulo horizontal irradiado para o limite.

$\sigma_{X_i}^2$  = variância da abscissa da estação ocupada com o taqueômetro.

$\sigma_{Y_i}^2$  = variância da ordenada da estação ocupada com o taqueômetro.

$\sigma^2_{diL}$  = variância da distância entre a estação e o limite irradiado.

$\sigma^2_{\alpha 0}$  = variância do azimute de partida.

$\sigma^2_{\alpha L}$  = variância do ângulo horizontal irradiado para o limite.

Como o azimute de partida depende das coordenadas da estação ocupada pelo taqueômetro e da estação de referência, ou seja, da estação de ré, conforme visto no item 3.1.1, e estas estações apresentam desvio padrão decorrente do ajustamento da rede, fez-se necessário aplicar a lei de propagação de erros para determinar a variância desse azimute, sendo seu valor introduzido no parâmetro multiplicativo do terceiro termo das equações (13) e (14). A seguir, apresentou-se o procedimento para obtenção desse indicador.

a2) Derivadas Parciais da função  $F_1$ :

➤ Em relação à  $X_i$

$$\frac{\partial F_1}{\partial X_i} = 1 \quad (15)$$

➤ Em relação a  $d_{iL}$

$$\frac{\partial F_1}{\partial d_{iL}} = \text{sen}(\alpha_0 + \alpha_L) \quad (16)$$

➤ Em relação ao  $\alpha_0$

$$\frac{\partial F_1}{\partial \alpha_0} = d_{iL} \cdot \cos(\alpha_0 + \alpha_L) \quad (17)$$

➤ Em relação a  $\alpha_L$

$$\frac{\partial F_1}{\partial \alpha_L} = d_{iL} \cdot \cos(\alpha_0 + \alpha_L) \quad (18)$$

a3) Derivadas Parciais da função  $F_2$ :

➤ Em relação a  $Y_i$

$$\frac{\partial F_2}{\partial Y_i} = 1 \quad (19)$$

➤ Em relação a  $d_{iL}$

$$\frac{\partial F_2}{\partial d_{iL}} = \cos(\alpha_0 + \alpha_L) \quad (20)$$

➤ Em relação ao  $\alpha_0$

$$\frac{\partial F_2}{\partial \alpha_0} = -d_{iL} \cdot \sin(\alpha_0 + \alpha_L) \quad (21)$$

➤ Em relação a  $\alpha_L$

$$\frac{\partial F_2}{\partial \alpha_L} = -d_{iL} \cdot \sin(\alpha_0 + \alpha_L) \quad (22)$$

b) Modelo Matemático para o Azimute de partida ( $F=Az_0=\alpha_0$ ) e aplicação da lei de propagação de erros.

$$Az_0 = tg^{-1} \left( \frac{X_j - X_i}{Y_j - Y_i} \right) \quad (23)$$

$$\sigma_{\alpha_0}^2 = \left( \frac{\partial F}{\partial X_j} \right)^2 \cdot \sigma_{x_j}^2 + \left( \frac{\partial F}{\partial X_i} \right)^2 \cdot \sigma_{x_i}^2 + \left( \frac{\partial F}{\partial Y_j} \right)^2 \cdot \sigma_{y_j}^2 + \left( \frac{\partial F}{\partial Y_i} \right)^2 \cdot \sigma_{y_i}^2 \quad (24)$$

Fazendo-se  $Az_0 = \alpha_0$ , apenas para simplificação da forma literal da equação (23), temos que:

$X_j$  = abscissa da estação de ré

$X_i$  = abscissa da estação ocupada com o taqueômetro

$Y_j$  = ordenada da estação de ré

$Y_i$  = ordenada da estação ocupada com o taqueômetro

$\sigma_{\alpha_0}^2$  = variância do azimute de partida

$\partial F / \partial X_j$  = derivada parcial da função F em relação à abscissa da estação de ré.

$\partial F / \partial X_i$  = derivada parcial da função F em relação à abscissa da estação ocupada com o taqueômetro.

$\partial F / \partial Y_j$  = derivada parcial da função F em relação à ordenada da estação de ré.

$\partial F / \partial Y_i$  = derivada parcial da função F em relação à ordenada da estação ocupada com o taqueômetro.

$\sigma^2_{xj}$  = variância da abscissa da estação de ré.

$\sigma^2_{xi}$  = variância da abscissa da estação ocupada com o taqueômetro.

$\sigma^2_{yj}$  = variância da ordenada da estação de ré.

$\sigma^2_{yi}$  = variância da ordenada da estação ocupada com o taqueômetro.

#### b1) Derivada do arco-tangente

Como a função F, que representa o azimuth de partida, é dada pelo cálculo do arco-tangente, utilizou-se o procedimento a seguir para determinar a derivada da função.

Seja a função arco – tangente:

$$F = \text{tg}^{-1} \frac{X_j - X_i}{Y_j - Y_i} \quad (25)$$

Fazendo-se

$$v = \frac{X_j - X_i}{Y_j - Y_i}$$

Temos que:

$$F = \text{tg}^{-1}(v)$$

Logo, a derivada do arco – tangente é dada por (GRUBER, 1989.p.27.):

$$\begin{aligned} F'(v) &= \frac{1}{1+v^2} \cdot dv \therefore v = \frac{X_j - X_i}{Y_j - Y_i} = \frac{u}{w} \therefore dv = \frac{u' \cdot w - u \cdot w'}{w^2} \\ \Rightarrow F'(v) &= \frac{1}{1+v^2} \cdot \frac{u' \cdot w - u \cdot w'}{w^2} \end{aligned} \quad (26)$$



b2) Derivadas Parciais da função F, aplicando-se a equação (25):

i) Em relação a variável  $X_j$

$$\frac{\partial F}{\partial X_j} = \frac{1}{1 + \left( \frac{X_j - X_i}{Y_j - Y_i} \right)^2} \cdot \frac{[(Y_j - Y_i) \cdot 1] - [(X_j - X_i) \cdot 0]}{(Y_j - Y_i)^2}$$

$$\frac{\partial F}{\partial X_j} = \frac{1}{1 + \frac{(X_j - X_i)^2}{(Y_j - Y_i)^2}} \cdot \frac{(Y_j - Y_i)}{(Y_j - Y_i)^2}$$

$$\frac{\partial F}{\partial X_j} = \frac{1}{\frac{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2}{(Y_j - Y_i)^2}} \cdot \frac{1}{(Y_j - Y_i)}$$

$$\frac{\partial F}{\partial X_j} = \frac{(Y_j - Y_i)^2}{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2} \cdot \frac{1}{(Y_j - Y_i)}$$

Fazendo-se:

$$(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2 = d_{ij}^2$$

E substituindo-se na expressão acima, temos:

$$\frac{\partial F}{\partial X_j} = \frac{(Y_j - Y_i)}{d_{ij}^2} \quad (27)$$

ii) Em relação a variável  $X_i$

$$\frac{\partial F}{\partial X_i} = \frac{1}{1 + \left( \frac{X_j - X_i}{Y_j - Y_i} \right)^2} \cdot \frac{[(-1) \cdot (Y_j - Y_i)] - [(X_i - X_j) \cdot 0]}{(Y_j - Y_i)^2}$$

$$\frac{\partial F}{\partial X_i} = \frac{-1}{1 + \frac{(X_j - X_i)^2}{(Y_j - Y_i)^2}} \cdot \frac{(Y_j - Y_i)}{(Y_j - Y_i)^2}$$

$$\frac{\partial F}{\partial X_i} = \frac{-1}{\frac{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2}{(Y_j - Y_i)^2}} \cdot \frac{1}{(Y_j - Y_i)}$$

$$\frac{\partial F}{\partial X_i} = \frac{(Y_j - Y_i)^2}{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2} \cdot \frac{-1}{(Y_j - Y_i)}$$

Fazendo-se:

$$(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2 = d_{ij}^2$$

E substituindo-se na expressão acima, temos:

$$\frac{\partial F}{\partial X_i} = \frac{(Y_i - Y_j)}{d_{ij}^2} \quad (28)$$

iii) Em relação a variável  $Y_j$

$$\frac{\partial F}{\partial Y_j} = \frac{1}{1 + \left( \frac{X_j - X_i}{Y_j - Y_i} \right)^2} \cdot \frac{(X_i - X_j)}{(Y_j - Y_i)^2}$$

$$\frac{\partial F}{\partial Y_j} = \frac{(X_i - X_j)}{d_{ij}^2} \quad (29)$$

iv) Em relação a variável  $Y_i$

$$\frac{\partial F}{\partial Y_i} = \frac{1}{1 + \left( \frac{X_j - X_i}{Y_j - Y_i} \right)^2} \cdot \frac{(X_j - X_i)}{(Y_j - Y_i)^2}$$

$$\frac{\partial F}{\partial Y_i} = \frac{(X_j - X_i)}{d_{ij}^2} \quad (30)$$

Quadro 02: Resumo das derivadas parciais da função F

Derivadas Parciais			
$\frac{\partial F}{\partial X_i}$	$\frac{\partial F}{\partial X_j}$	$\frac{\partial F}{\partial Y_i}$	$\frac{\partial F}{\partial Y_j}$
$\frac{(Y_i - Y_j)}{d_{ij}^2}$	$\frac{(Y_j - Y_i)}{d_{ij}^2}$	$\frac{(X_j - X_i)}{d_{ij}^2}$	$\frac{(X_i - X_j)}{d_{ij}^2}$

Após os cálculos utilizando-se as equações (13) e (14), chega-se aos valores dos desvios padrão em cada uma das direções, paralelas aos eixos do sistema de coordenadas, para cada ponto de limite de propriedade.

Como nesse experimento se deseja identificar a incerteza posicional em outras direções, dos pontos que delimitam a propriedade, aplicou-se a lei de propagação das variâncias, que será descrita no item a seguir.

#### 4.2.2 Aplicação da lei de propagação das variâncias nas coordenadas dos limites

Anteriormente foi dito que se pode utilizar a elipse de erro como indicador de incerteza posicional de um ponto. Sendo assim, fez-se necessário a aplicação da lei de propagação das variâncias para, através dos elementos da matriz variância – covariância, determinar-se os parâmetros de orientação das elipses, ou seja, ângulo

de rotação, semi-eixo maior e semi-eixo menor. Para o cálculo desses parâmetros, utilizaram-se as seguintes equações:

- Lei de propagação das variâncias (GEMAEL, 1984):

$$\Sigma_{X_L, Y_L} = G \cdot \Sigma_{X_i, Y_i, d_{iL}, \alpha_0, \alpha_L} \cdot G^T \quad (31)$$

- Modelo matemático:

Função  $F_1$

$$\begin{aligned} X_L &= X_i + d_{iL} \cdot \text{sen}(Az_{iL}) \\ X_L &= X_i + d_{iL} \cdot \text{sen}(\alpha_0 + \alpha_L) \end{aligned} \quad (32)$$

Função  $F_2$

$$\begin{aligned} Y_L &= Y_i + d_{iL} \cdot \cos(Az_{iL}) \\ Y_L &= Y_i + d_{iL} \cdot \cos(\alpha_0 + \alpha_L) \end{aligned} \quad (33)$$

- Matriz das variâncias das variáveis aleatórias:

$$\Sigma = \begin{vmatrix} \sigma^2_{X_i} & & & & \\ & \sigma^2_{Y_i} & & & \\ & & \sigma^2_{d_{iL}} & & \\ & & & \sigma^2_{\alpha_0} & \\ & & & & \sigma^2_{\alpha_L} \end{vmatrix}$$

- Matriz das derivadas parciais das funções  $F_1$  e  $F_2$  em relação as variáveis aleatórias:

$$G = \begin{vmatrix} 1 & 0 & \text{sen}(\beta) & d_{iL} \cdot \cos(\beta) & d_{iL} \cdot \cos(\beta) \\ 0 & 1 & \cos(\beta) & -d_{iL} \cdot \text{sen}(\beta) & -d_{iL} \cdot \text{sen}(\beta) \end{vmatrix}$$

- Transposta da matriz **G**:

$$\mathbf{G}^T = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ \text{sen}(\beta) & \cos(\beta) \\ d_{iL} \cdot \cos(\beta) & -d_{iL} \cdot \text{sen}(\beta) \\ d_{iL} \cdot \cos(\beta) & -d_{iL} \cdot \text{sen}(\beta) \end{vmatrix}$$

Após multiplicação das matrizes acima, fazendo  $\beta = \alpha_0 + \alpha_L$ , obtiveram-se os elementos da matriz variância – covariância, identificados pelas expressões abaixo:

- 1º elemento da 1ª linha ( $\sigma^2_x$ )

$$\sigma^2_{xi} + [(\sigma^2_{diL}) \cdot \text{sen}\beta \cdot \text{sen}\beta] + [(\sigma^2_{\alpha 0}) \cdot d_{iL} \cos\beta \cdot d_{iL} \cos\beta] + [(\sigma^2_{\alpha L}) \cdot d_{iL} \cos\beta \cdot d_{iL} \cos\beta] \quad (34)$$

- 2º elemento da 1ª linha ( $\sigma_{xy}$ )

$$[(\sigma^2_{diL}) \cdot \text{sen}\beta \cdot \cos\beta] - [(\sigma^2_{\alpha 0}) \cdot d_{iL} \cos\beta \cdot d_{iL} \text{sen}\beta] - [(\sigma^2_{\alpha L}) \cdot d_{iL} \cos\beta \cdot d_{iL} \text{sen}\beta] \quad (35)$$

- 1º elemento da 2ª linha ( $\sigma_{yx}$ )

$$(\sigma^2_{diL}) \cdot \cos\beta \cdot \text{sen}\beta - (\sigma^2_{\alpha 0}) \cdot d_{iL} \text{sen}\beta \cdot d_{iL} \cos\beta - (\sigma^2_{\alpha L}) \cdot d_{iL} \text{sen}\beta \cdot d_{iL} \cos\beta \quad (36)$$

- 2º elemento da 2ª linha ( $\sigma^2_y$ )

$$\sigma^2_{yi} + (\sigma^2_{diL}) \cdot \cos\beta \cdot \cos\beta + (\sigma^2_{\alpha 0}) \cdot d_{iL} \text{sen}\beta \cdot d_{iL} \text{sen}\beta + (\sigma^2_{\alpha L}) \cdot d_{iL} \text{sen}\beta \cdot d_{iL} \text{sen}\beta \quad (37)$$

A partir dos elementos dessa matriz, foram calculados os parâmetros de orientação das elipses de erro, referentes às coordenadas dos pontos que delimitam o Sítio Vale Encantado, utilizando-se as equações abaixo, cujo procedimento demonstrativo pode ser visto em GEMAEL (1984):

- Cálculo do ângulo de orientação da elipse ( $\Psi$ ):

$$\text{tg } 2\Psi = (2\sigma_{xy}) / (\sigma^2_x - \sigma^2_y) \quad (38)$$

- ii) Cálculo dos semi – eixos maior e menor, que são respectivamente as variâncias máxima e mínima.

$$M = [ (4 \sigma_{xy}^2) + (\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 ]^{1/2} \quad (39)$$

$$\sigma_{\text{máx}}^2 = 0,5 (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + M) \quad (40)$$

$$\sigma_{\text{mín}}^2 = 0,5 (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - M) \quad (41)$$

### 4.3 O princípio da vizinhança

A NBR 13.133 de maio de 1994, que orienta a execução de levantamento topográfico, estabelece que: “O princípio da vizinhança é regra básica da geodésia, que deve ser aplicada à topografia. Esta regra estabelece que cada ponto novo determinado deve ser amarrado ou relacionado à todos os pontos já determinados, para que haja uma otimização da distribuição dos erros. É importante a hierarquização, em termos de exatidão dos pontos nos levantamentos topográficos, pois cada ponto novo determinado tem exatidão sempre inferior à dos que serviram de base a sua determinação, não importando o grau de precisão desta determinação”.

ROMÃO et al. (1996, p.III-415) definem o princípio da vizinhança como sendo o princípio que garante a precisão relativa entre pontos vizinhos, fundamental na definição de limites de propriedades.

No âmbito do cadastro, o Princípio da Vizinhança é também chamado de *precisão de vizinhança*, do termo em inglês “*neighbouring accuracy*”. De maneira geral, a aplicação do princípio da vizinhança nas medições de pontos de detalhes é uma garantia de qualidade desses levantamentos. No levantamento cadastral a exigência de qualidade é duplamente necessária, uma vez que o cadastro envolve o aspecto técnico da medição e o aspecto jurídico da determinação dos limites legais das parcelas territoriais. Portanto a aplicação do Princípio da Vizinhança no levantamento cadastral deve ser uma obrigatoriedade (BRANDÃO, 2004).

Segundo BRANDÃO (2004), as medições cadastrais devem ser conduzidas com observações independentes e deve ser realizado um ajustamento conjunto entre os pontos da rede de referência e os pontos que definem os limites das parcelas. A regra básica para o levantamento cadastral, consiste na medição de todas as extremas (linhas de limites) das parcelas territoriais de forma a ser possível a determinação de suas posições por coordenadas e as correspondentes precisões. Essa precisão posicional pode ser representada sob forma de uma elipse de confiança.

PHILIPS (1996, p.II-177) afirma que: “todas as medições devem ser configuradas e calculadas para se obter um resultado de coordenadas ‘homogêneas’ com mínimas tolerâncias entre os pontos vizinhos (princípio da vizinhança)”.

## **5. DETERMINAÇÃO DE LIMITES DE IMÓVEIS RURAIS EM ATENDIMENTO À LEI 10.267/01 E DECRETO 4.449/02**

Para analisar a questão da obtenção da precisão exigida na Lei, foram realizados dois levantamentos, a partir dos quais foram feitas as análises que serão apresentadas neste capítulo.

O primeiro levantamento, realizado no Campus da UFPE, teve o objetivo de analisar a disponibilidade dos pontos de referência oficiais e sua utilização no georreferenciamento de um imóvel rural simulado, em atendimento às exigências da Lei 10.267/2001. Após os testes para a determinação dos pontos de apoio, foram determinadas as coordenadas de limites do suposto imóvel rural.

O segundo levantamento abrangeu um minifúndio localizado no município de Macaparana-PE. Nos dois casos utilizou-se o posicionamento GPS (para a determinação das coordenadas dos pontos de apoio e de alguns dos vértices de limite da propriedade) e a taqueometria eletrônica (para a determinação dos demais vértices de limite da propriedade). A escolha da metodologia baseou-se em duas considerações:

- a) Nem sempre é possível a execução do levantamento do imóvel utilizando-se apenas o posicionamento GPS, como tem sido amplamente difundido nos meios técnicos;
- b) No caso de levantamentos utilizando integração de métodos (GPS + terrestres), este trabalho contribui com a apresentação dos procedimentos necessários para a obtenção da precisão dos limites, o que não foi abordado na Norma para Georreferenciamento de Imóveis Rurais do INCRA.

Para os dois levantamentos foram utilizados equipamentos GPS de uma frequência (L1), com o objetivo de testar a viabilidade técnica de se utilizar estes equipamentos, mais viáveis economicamente do que os equipamentos de dupla frequência sugeridos pela Norma.



É importante salientar que nos experimentos foram utilizados pontos da RBMC e da RIBAC, mesmo não estando ainda esta última homologada pelo IBGE e não sendo parte, portanto, do SGB. Isto ocorreu e ocorre em diversas regiões do país devido à baixa densidade de pontos da RBMC, que é insuficiente para atender às necessidades cadastrais. Na pesquisa considerou-se, portanto, que este fato não compromete a realização das análises nem os procedimentos utilizados. A futura homologação da RIBAC implicará, no entanto, em alteração nos valores das coordenadas dos pontos utilizados e na sua precisão.

## 5.1 Métodos e materiais utilizados

O desenvolvimento do estudo seguiu o esquema apresentado na Figura 15.

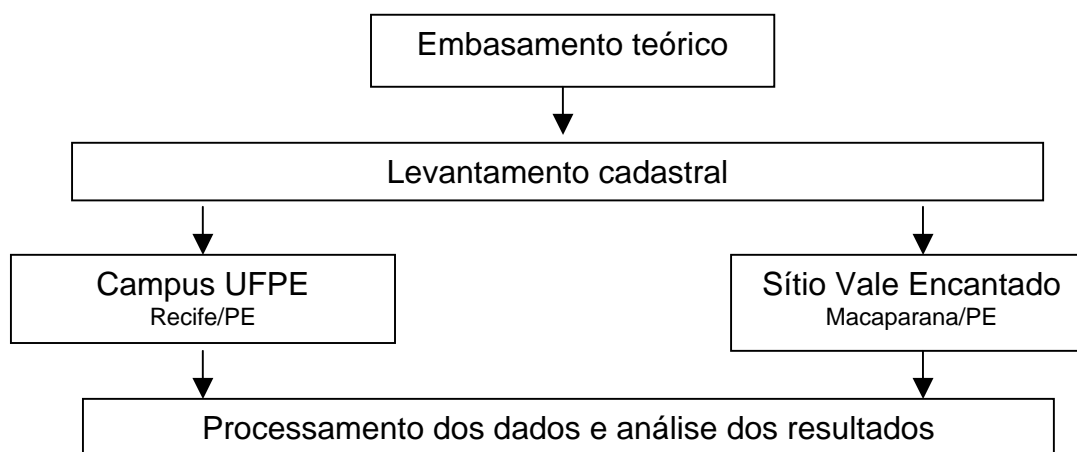


Figura 15 - Esquema do desenvolvimento da pesquisa

O indicador de precisão utilizado nos experimentos foi o desvio padrão, que apresenta um nível de confiança de 68%, uma vez que as normas para georreferenciamento de imóveis rurais, propostas pelo INCRA, estabelecem este indicador.

### a) Métodos

Nesta pesquisa foram adotados os seguintes métodos de levantamento cadastral:

- Rastreio relativo estático para implantação de pontos de apoio planimétrico, georreferenciados a estações do SGB;
- Rastreio relativo estático para determinação dos limites de propriedade, georreferenciados aos pontos de apoio planimétrico;
- Levantamento por taqueometria eletrônica para levantamento dos limites de propriedade, georreferenciados aos pontos de apoio planimétrico.

b) Materiais

Foram utilizados os seguintes equipamentos:

- equipamento GPS GTR1 (L1)
- taqueômetro eletrônico TC-500
- computador Pentium
- programa GPSurvey 2.35

## 5.2 Simulação no Campus da UFPE

Esse experimento teve como objetivo avaliar a precisão das coordenadas de supostos limites de imóveis georreferenciadas a duas estações pertencentes a RIBAC.

Realizou-se o levantamento cadastral com receptor GPS de frequência L1, dos pontos definidores dos limites de uma propriedade hipotética. Utilizaram-se os dados das estações Petrolina e Maceió, pertencentes à rede de referência do INCRA (RIBaC), a fim de implantar dois pontos de controle planimétrico, para serem utilizados como apoio ao levantamento dos pontos de limite. O experimento foi realizado com o objetivo de verificar se as precisões alcançadas na determinação das coordenadas dos pontos de apoio e limites da propriedade, atendiam às especificações da norma do INCRA (10 centímetros para pontos de apoio básico, 20 centímetros para pontos de apoio imediato e 50 centímetros para os pontos de limite).

Realizou-se, também, uma análise das precisões obtidas para o par de coordenadas dos pontos de apoio e dos limites da propriedade, em função das distâncias para cada estação de referência.

A propriedade simulada está situada no campus da UFPE, conforme a figura 16 e possui uma área de aproximadamente 4,074 hectares. Estabeleceram-se seis pontos definidores para os limites da propriedade, denominados EC04, CT08, EC03, MON, TEATRO e T1, cuja distribuição pode ser observada nas figuras 19 e 20. Implantaram-se dois pontos de apoio planimétrico denominados EE e BB para o levantamento dos referidos pontos, mostrados na figura 20. Foram utilizadas técnicas de rastreo com dois receptores GTR1 SIGHT GPS, com portadora L1 e um receptor TRIMBLE 4000SSI, com portadora L1 e L2. A campanha foi executada no dia 30 de maio de 2003. As informações do rastreo apresentam-se nas fichas de anotação de campo, conforme a tabela 03.

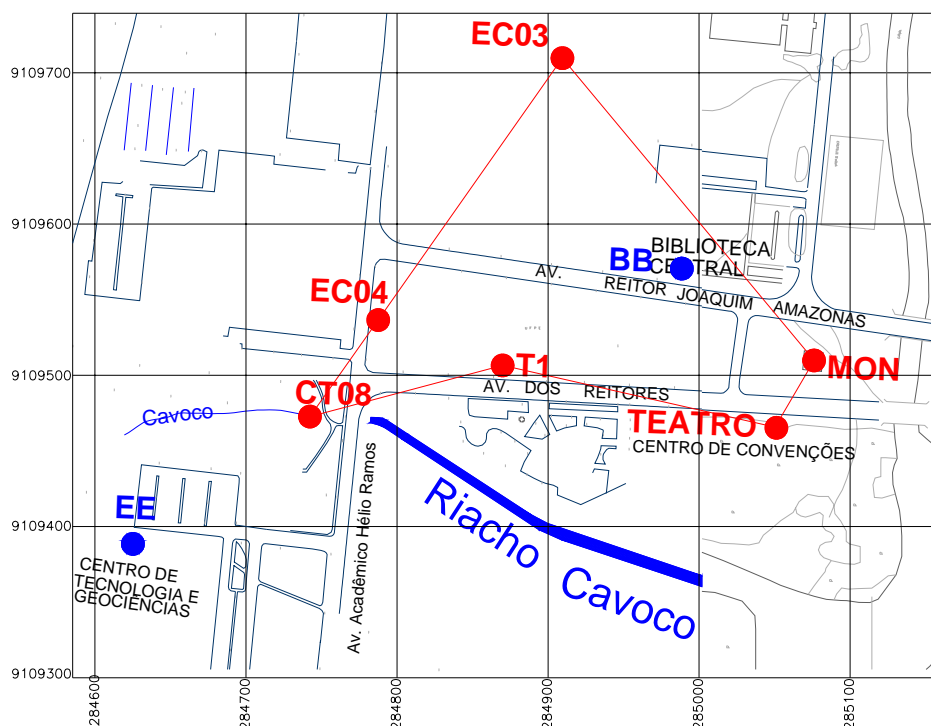


Figura 16 - Croqui de localização dos pontos limite de propriedade

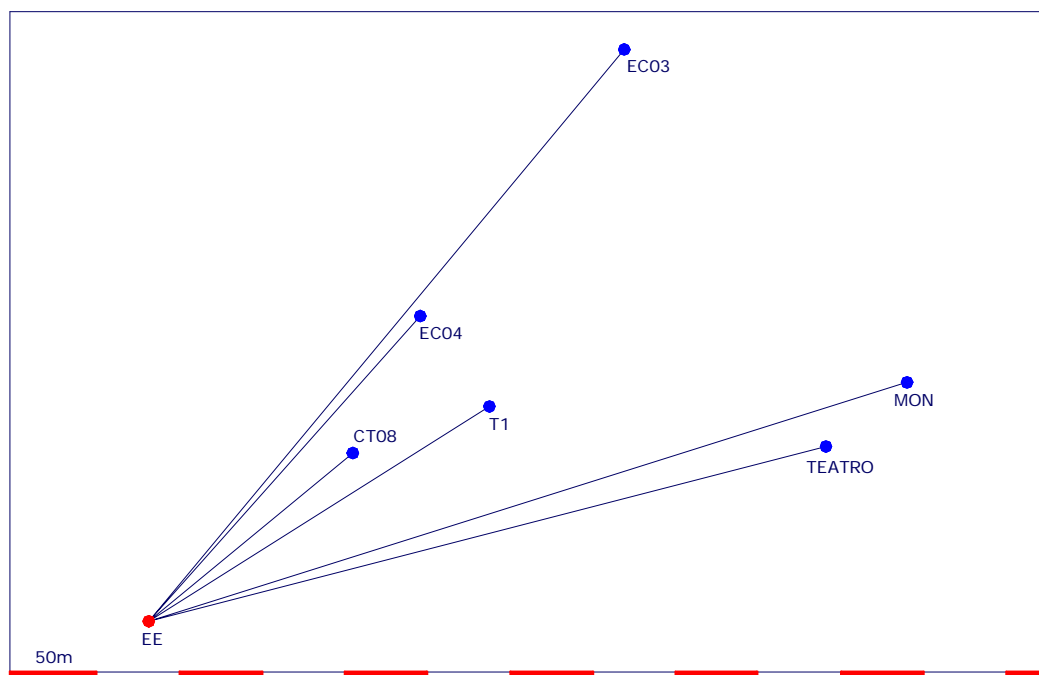


Figura 17 - Esquema dos pontos delimitadores da propriedade e o ponto de apoio planimétrico EE

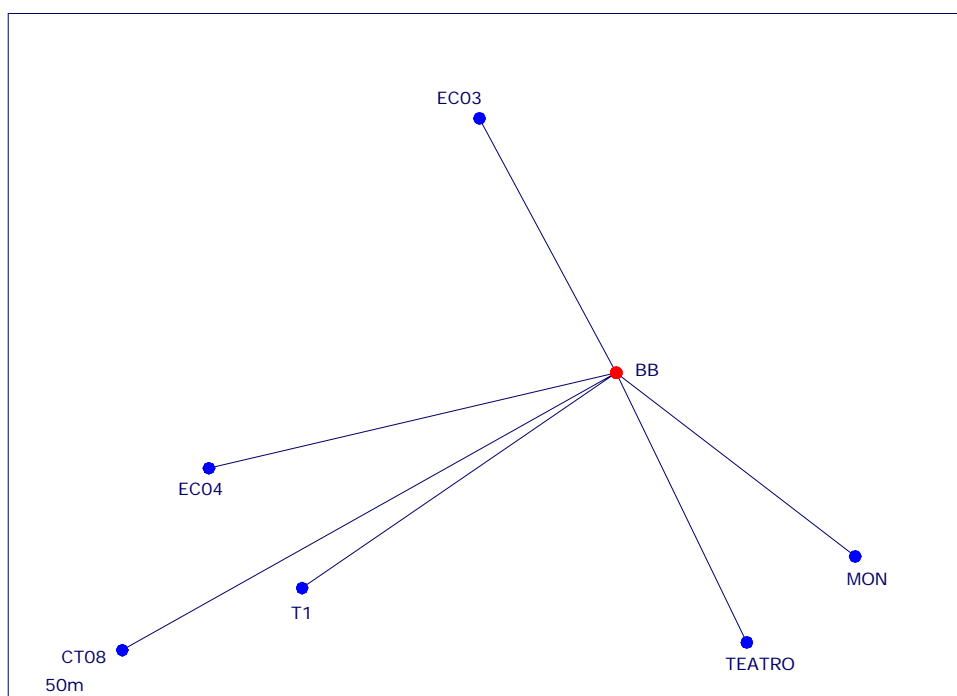


Figura 18 - Esquema dos pontos delimitadores da propriedade e o ponto de apoio planimétrico BB

Quanto à disposição geométrica dos pontos, os esquemas das figuras 17 e 18 mostram que os limites da propriedade foram levantados pelo método radial utilizando-se duas estações bases, ou seja, dois receptores permaneceram fixos nos pontos de apoio planimétrico EE e BB, enquanto que um receptor móvel foi utilizado nos pontos de limite a serem determinados.

As anotações de campo foram feitas em um modelo de caderneta apresentado na tabela 03.

Tabela 03: Caderneta de campo

<b>RELATÓRIO DE CAMPO – FICHA DE ANOTAÇÃO</b> DATA: 30/05/2003 LOCAL: Campus UFPE – Universidade Federal de Pernambuco				
ESTAÇÃO	EQUIPAMENTO (CÓDIGO)	ALTURA ANTENA	INÍCIO/TÉRMINO	MÉTODO DE RASTREIO
EE/BB	GTR1 nº01 – L1 TRIMBLE – L1 e L2	0,23 m/0,129m	11:00 / 15:42	Estático
MON	GTR-1 nº02 L1	1,476m	10:45 / 11:30	Estático
EC04	GTR-1 nº02 L1	1,286 m	11:40 / 12:15	Estático
CT08	GTR-1 nº02 L1	1,326m	12:35 / 13:05	Estático
EC03	GTR-1 nº02 L1	1,296m	13:20 / 13:50	Estático
TEATRO	GTR-1 nº02 L1	1,396m	14:09 / 14:40	Estático
T1	GTR-1 nº02 L1	1,411m	14:52 / 15:23	Estático

Na primeira coluna identificam-se as estações rastreadas e, para cada estação, tem-se a informação quanto ao receptor utilizado, altura da antena, hora de início e término do rastreo e o método de rastreo, apresentado nas demais colunas.

Observando-se a coluna de início e término do rastreo pode-se notar que os receptores fixos permaneceram nos pontos EE e BB durante 4 horas e 42 minutos, enquanto que os demais pontos foram rastreados por aproximadamente 30 minutos e taxa de coleta dos dados de 15 segundos. Vale salientar a importância dessas anotações de campo, uma vez que as mesmas são utilizadas como dados de entrada e identificação dos pontos, através da hora de início e término do rastreo, no programa de pós-processamento, uma vez que os receptores utilizados em EE e nos limites não permitiam inserir a identificação dos mesmos.

A Norma do INCRA estabelece que: “cada ponto de controle básico deverá ser determinado a partir de, no mínimo, duas estações receptoras de sinais do GPS, permitindo a construção de um polígono, ou rede, com no mínimo três vértices. A rede resultante deve ser ajustada pelo método dos mínimos quadrados, assegurando ao final do ajustamento a existência de dois vetores independentes para cada ponto de apoio de controle determinado”.

Um dos pontos de apoio está situado no topo do prédio do CTG (Centro de Tecnologia e Geociências) e é denominado de EE, enquanto que o outro está situado no topo do prédio da Biblioteca Central e é denominado BB. Instalou-se um receptor em cada um desses pontos que permaneceu coletando dados durante todo o levantamento; aproximadamente 4 horas e 42 minutos. Esses pontos foram escolhidos por estarem em um local que oferece segurança, não sendo necessário vigilância e por estar a antena receptora livre de obstruções que interfiram na captação dos sinais enviados pelos satélites.

#### 5.2.1 Processamento das linhas de base e cálculo das coordenadas dos pontos de apoio planimétrico

As normas do INCRA especificam o seguinte parâmetro para comparação do desvio padrão da linha de base processada:  $1\text{cm} + 2\text{ppm} \times D$ , sendo D a dimensão da linha de base em quilômetros.

Para as dimensões das linhas de base desse experimento têm-se os valores de desvio padrão indicados na tabela 04.

Tabela 04: Parâmetros de comparação para o desvio padrão da linha de base processada

Linha de base	Dimensão	Desvio padrão da linha de base
EE - Maceió	198 Km	$1\text{cm} + 39,6\text{cm} = 40,6\text{cm}$
BB - Maceió	198 Km	$1\text{cm} + 39,6\text{cm} = 40,6\text{cm}$
EE - Petrolina	628 Km	$1\text{cm} + 125,6\text{cm} = 126,6\text{cm} = 1,27\text{m}$
BB - Petrolina	628 Km	$1\text{cm} + 125,6\text{cm} = 126,6\text{cm} = 1,27\text{m}$

Para o processamento das linhas de base e determinação das coordenadas dos pontos de controle foram realizados dois testes. Nesses testes utilizaram-se os dados das estações de Maceió e Petrolina como referência por estarem distantes do ponto EE e BB, aproximadamente, 198 e 628 quilômetros, respectivamente, sendo as mais próximas da área de estudo.

As coordenadas das estações de Maceió e Petrolina, bem como os dados de rastreio, para a data do levantamento, foram acessados na internet, através do site [www.incra.gov.br](http://www.incra.gov.br), utilizando-se o seguinte caminho: Serviços e Informações, RIBaC – Rede Incra de Bases Comunitárias do GPS e Acesso a RIBaC.

Utilizou-se o programa GPSurvey 2.35 para o processamento das linhas de base e cálculo das coordenadas dos pontos de apoio planimétrico EE e BB.

#### 5.2.1.1 Teste 01 – utilização simultânea das estações Maceió e Petrolina como referências fixas

O esquema geométrico das figuras 19 e 20 mostra que, durante o processamento, apenas a estação Maceió foi considerada pelo programa GPSurvey 2.35, como referência conhecida, para a determinação das coordenadas geodésicas, em WGS-84, dos pontos de apoio EE e BB, além disso, as coordenadas da estação Petrolina foram modificadas. Isso mostra uma das limitações do programa utilizado. As linhas de base são definidas pelo próprio programa quando se especifica o processamento com linhas de base independentes. Dessa forma obtiveram-se as coordenadas dos pontos de apoio EE e BB referenciadas a apenas uma estação base. O uso de base única na determinação de pontos não é indicado, pois não há controle de qualidade e os resultados apresentam baixa confiabilidade. Sendo assim, realizou-se um segundo teste que será descrito no item 5.2.1.2.

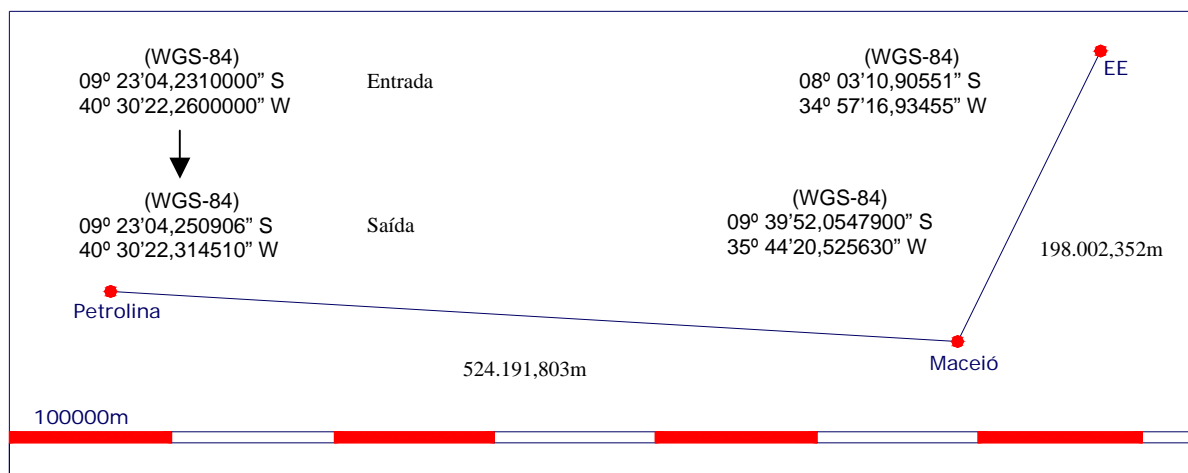


Figura 19 - Determinação do ponto EE considerando-se Petrolina e Maceió como referência

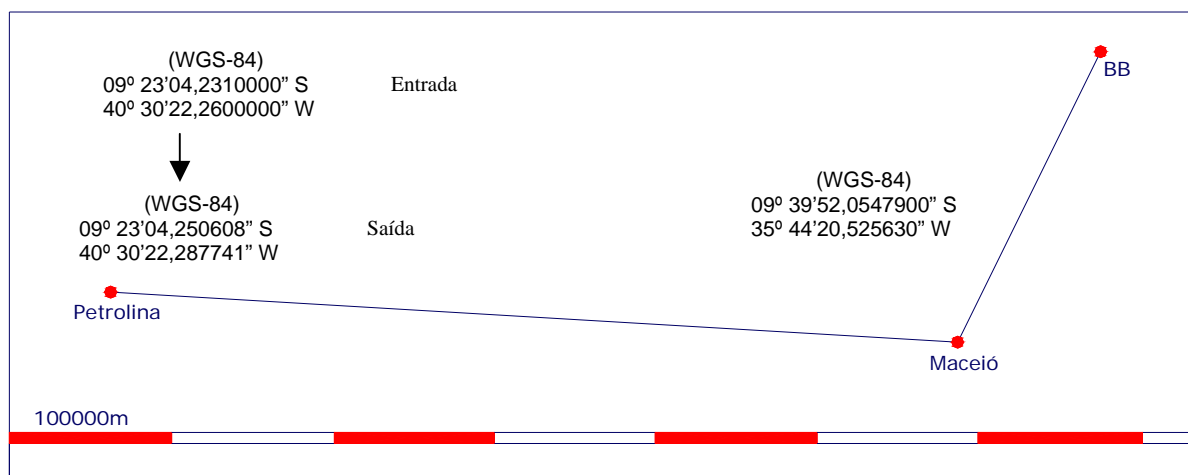


Figura 20 - Determinação do ponto BB considerando-se Petrolina e Maceió como referência

### 5.2.1.2 Teste 02 – utilização individual de cada uma das estações Maceió e Petrolina como referências fixas

Nesse teste, considerou-se a determinação dos pontos de apoio EE e BB utilizando-se, também, as estações de Maceió e Petrolina como referência, porém uma de cada vez, ou seja, determinou-se EE e BB a partir de Maceió, obtendo-se



assim suas coordenadas, bem como o comprimento da linha de base. Em seguida, determinou-se EE e BB a partir de Petrolina.

Assim, foram obtidos dois pares de coordenadas para cada ponto de apoio. O esquema geométrico das figuras 21, 22, 23 e 24 mostra que os pontos foram determinados um de cada vez, em relação à estação de referência. Pois, ao tentar-se determinar os pontos de apoio EE e BB simultaneamente a partir de Maceió, por exemplo, o programa GPSurvey 2.35 calcula as coordenadas do ponto BB e a partir deste calcula o ponto EE.

Os resultados do processamento das linhas de base estão apresentados na tabela 05.

Tabela 05: Linhas de base obtidas com o processamento separado de cada um dos pontos

Linha de base	Tipo de solução	Comprimento	$\sigma$ (m)
EE - Maceió	<i>Float</i>	198.002,352m	0,018
BB - Maceió	<i>Float</i>	198.359,955m	0,013
EE - Petrolina	<i>Float</i>	628.141,310m	0,054
BB - Petrolina	<i>Float</i>	628.535,129m	0,046

O tipo de solução *float*, obtido no processamento, é esperado para uma distância acima de 100 quilômetros, como especificado nas Normas do INCRA (Tabela 9,p. 18), mesmo que o equipamento utilizado fosse de duas frequências. A terceira coluna da tabela 05 mostra o comprimento da linha de base processada, enquanto que a última coluna apresenta o valor obtido para o desvio padrão de cada linha de base. Esses valores estão de acordo com a especificação das normas do INCRA uma vez que são inferiores aqueles mostrados na tabela 04, ou seja, 40,6 centímetros e 1,27 metros.

As coordenadas geodésicas e planas obtidas para os pontos de apoio planimétrico EE e BB podem ser vistas na tabela 06. A primeira coluna da tabela 06 mostra as coordenadas geodésicas em SAD-69, a segunda coluna mostra as coordenadas planas em UTM SAD-69 e a terceira coluna os respectivos desvios padrão.

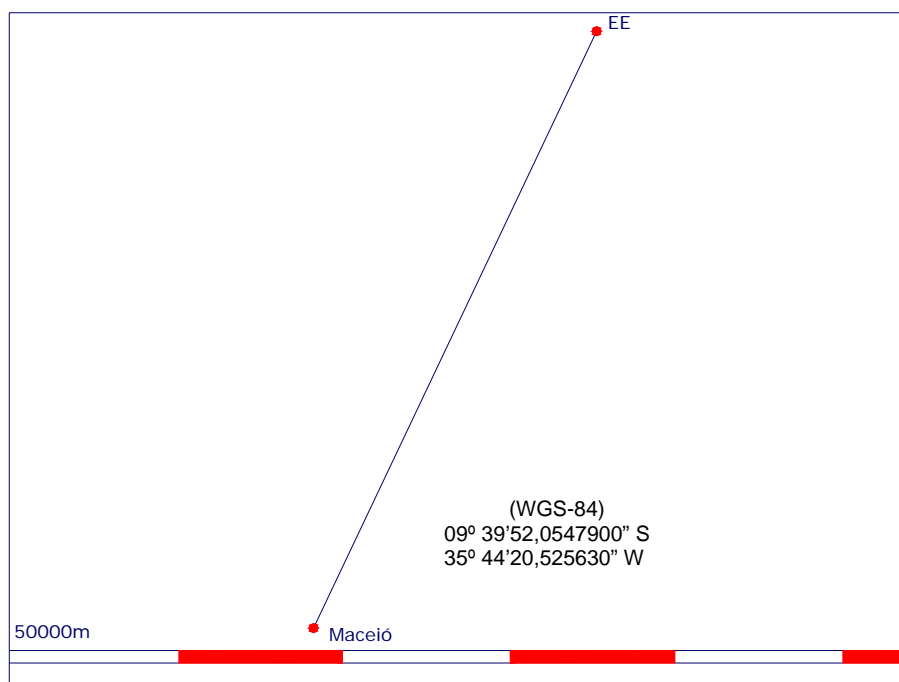


Figura 21 - Determinação do ponto EE considerando-se a estação de Maceió como referência

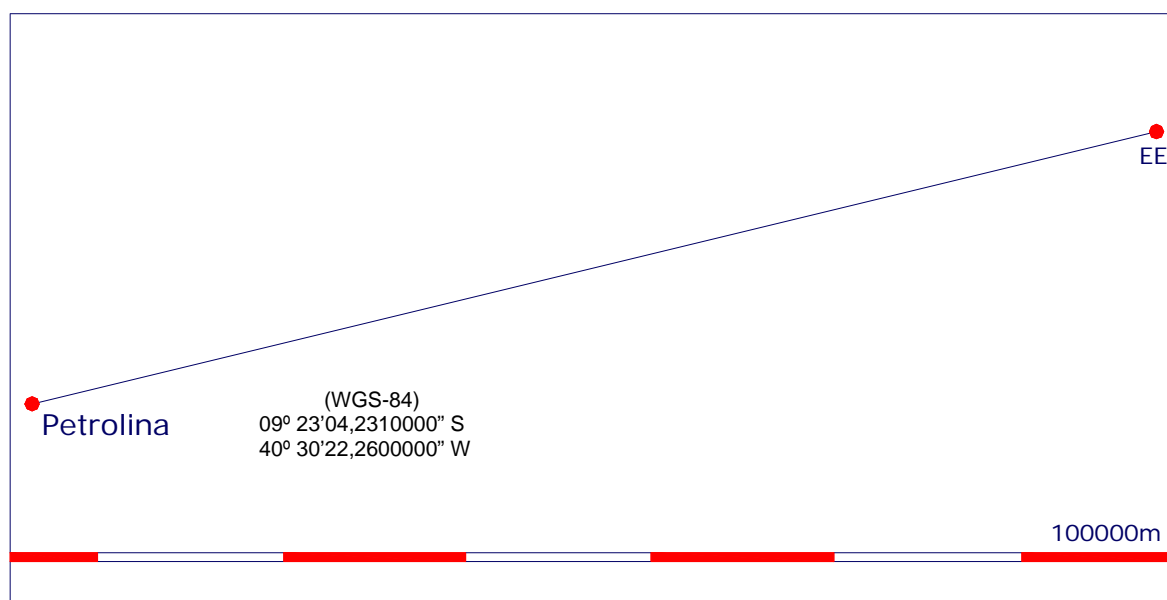


Figura 22 - Determinação do ponto EE considerando-se a estação de Petrolina como referência

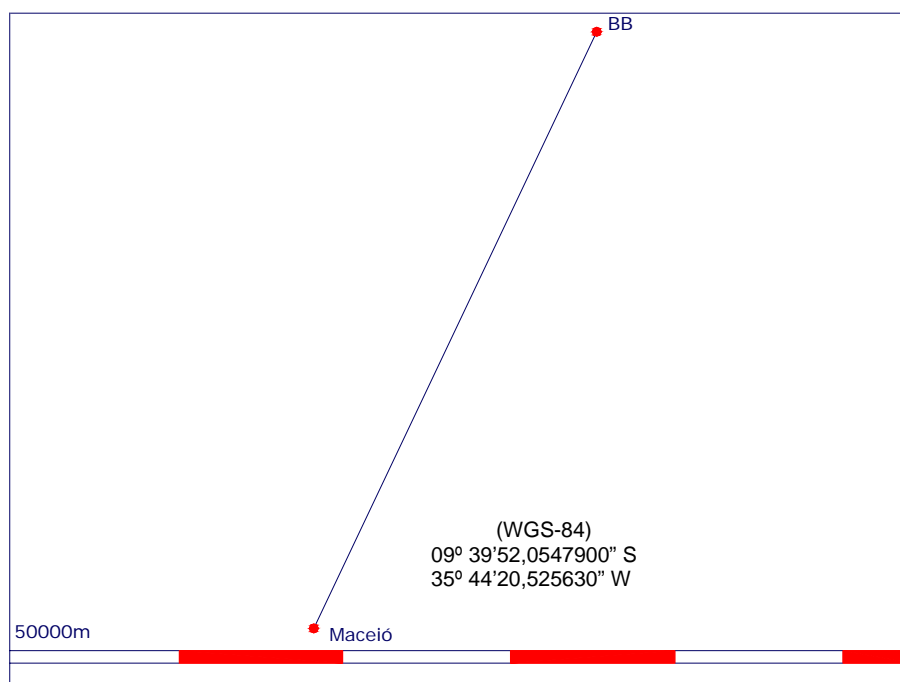


Figura 23 - Determinação do ponto BB considerando-se a estação de Maceió como referência

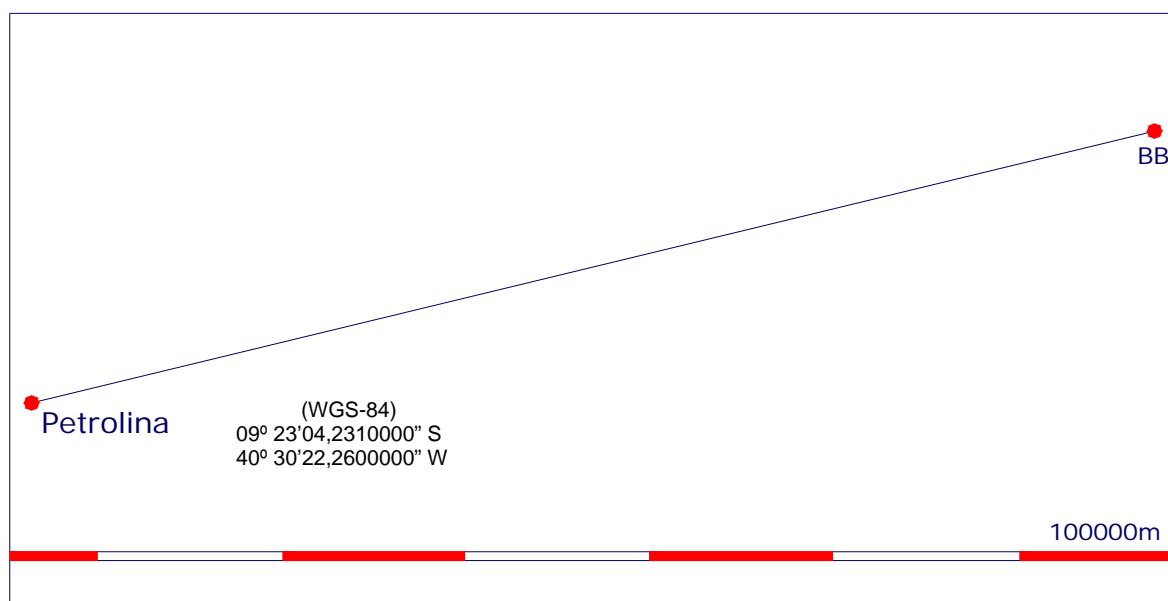


Figura 24 - Determinação do ponto BB considerando-se a estação de Petrolina como referência

Tabela 06: Coordenadas dos pontos de apoio EE e BB e seus respectivos desvios padrão

Coordenadas Geodésicas (SAD-69)		Coordenadas Planas UTM (SAD-69)		Desvios padrão		
Latitude	Longitude	N (m)	E (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma$ (m)
EE - Referência Maceió						
08°03'09,37045"S	34°57'15,75836"W	9.109.369,013	284.615,726	0,008	0,033	0,034
EE - Referência Petrolina						
08°03'09,34487"S	34°57'15,72515"W	9.109.369,804	284.616,739	0,021	0,056	0,060
BB - Referência Maceió						
08°03'01,95931"S	34°57'04,26988"W	9.109.598,409	284.966,465	0,006	0,026	0,027
BB - Referência Petrolina						
08°03'01,92972"S	34°57'04,25971"W	9.109.599,320	284.966,772	0,018	0,048	0,051

A terceira coluna da tabela 06 expressa o valor do desvio padrão para o par de coordenadas da estação EE e BB, respectivamente, fornecidas pelo programa de processamento, quando calculadas em função das estações de Maceió e Petrolina. Esse valor atende às precisões especificadas pelo INCRA para ponto de controle, ou seja, inferior a 10 centímetros para ponto de apoio básico e inferior a 20 centímetros para ponto de apoio imediato, conforme valores apresentados na Tabela 02. Porém, esses indicadores são muito otimistas e mostram apenas a precisão interna alcançada pelo programa.

Calculou-se, então, a discrepância encontrada entre os pares de coordenadas dos pontos de apoio EE e BB, conforme tabela 07.

Tabela 07: Discrepância para os pontos de apoio EE e BB

Ponto		Coordenadas		Discrepância (m)	
		Ref. Maceió	Ref. Petrolina		
EE	N	9.109.369,013	9.109.369,804	0,791	1,29
	E	284.615,726	284.616,739	1,013	
BB	N	9.109.598,409	9.109.599,320	0,911	0,96
	E	284.966,465	284.966,772	0,307	

A segunda coluna da tabela 07 representa as coordenadas dos pontos de apoio EE e BB referenciadas às estações Maceió e Petrolina. Na terceira coluna

observa-se a discrepância, que é a diferença entre os valores obtidos para cada coordenada e a resultante desses valores.

Os valores das resultantes não atendem às precisões especificadas pelo INCRA para ponto de controle, ou seja, inferior a 10 centímetros para ponto de apoio básico e inferior a 20 centímetros para ponto de apoio imediato, conforme valores apresentados na tabela 02.

Sendo as estações Maceió e Petrolina as mais próximas da área do experimento, verifica-se uma necessidade de densificação dos pontos que compõem o SGB, para que possam atender às especificações do INCRA. Pois as distâncias entre as bases utilizadas como referência e o ponto de apoio a ser determinado são visivelmente diferentes, uma distância é três vezes maior que a outra, como pode ser visto na tabela 04.

Os experimentos realizados comprovam que, para a atual densificação das redes de referência, não é possível a utilização de equipamentos de frequência única, que diminuiria substancialmente o custo dos equipamentos.

Do ponto de vista legal, a RIBaC ainda não faz parte do SGB, até que seja homologada pelo INCRA. Assim, é importante destacar também que, numa cidade como Recife, para georreferenciar um imóvel a partir de pontos de referência de qualidade, como os da RBMC, dispõe-se apenas da estação RECF.

As coordenadas da estação RECF, bem como os dados de rastreo, para a data do levantamento, podem ser acessados na internet, através do site [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br), utilizando-se o seguinte caminho: Geociências, Geodésia e RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo.

## 5.2.2 Cálculo das coordenadas dos pontos limite de propriedade

Procedeu-se o georreferenciamento dos seis pontos limite de propriedade com relação aos pontos de apoio EE e BB, implantados nas proximidades da área levantada.

Para o levantamento desses pontos definidores dos limites de propriedade, o procedimento utilizado foi o método radial com duas bases. Aplicou-se o método estático de rastreamento simultâneo e taxa de coleta de 15 segundos, com 30 minutos de duração para todos os pontos que delimitam a propriedade, respeitando-se o tempo de ocupação mínimo, para levantamentos estáticos em que a distância entre os pontos a determinar e a estação de referência é de no máximo 1 quilômetro, conforme descrito na tabela 01, quando emprega-se equipamento de uma frequência.

Como a discrepância encontrada para as coordenadas dos pontos de apoio EE e BB não atende às especificações do INCRA, não é possível utilizar-se a média como valor mais provável para as coordenadas dos referidos pontos.

Sendo assim, para a determinação das coordenadas dos pontos delimitadores da suposta propriedade, utilizaram-se os quatro pares de coordenadas apresentados na tabela 07 como referência conhecida, encontrando-se, então, quatro pares de coordenadas para cada ponto de limite da propriedade, onde, dois pares estão referenciados a Maceió, utilizando-se EE e BB como pontos de apoio e dois pares referenciados a Petrolina, utilizando-se, também, EE e BB como pontos de apoio. A partir daí, determinou-se a discrepância entre as coordenadas de cada ponto de limite.

Os valores dessas coordenadas e as suas respectivas discrepâncias podem ser observados na tabela 08.

Analisando-se os resultados apresentados na tabela 08, observa-se que, para as condições do rastreamento realizado, considerando-se o georreferenciamento aos dois pontos de apoio obtidos a partir de Maceió e Petrolina, a discrepância resultante, de 0,53m e 0,97m respectivamente, obtidas para cada par de coordenadas definidoras dos limites da propriedade, não atendem a exigência de ser inferior a 0,50m.

Tabela 08: Discrepâncias entre os pontos de limite de propriedade utilizando-se os pontos de apoio local EE e BB

Limite de Propriedade		Ponto de apoio local (Ref. Maceió)		Discrep	Result.	Ponto de apoio local (Ref. Petrolina)		Discrep	Result.
		EE	BB			EE	BB		
		Coordenadas dos limites				Coordenadas dos limites			
EC03	N	9.109.715,034	9.109.714,534	0,500	0,537	9.109.715,825	9.109.715,445	0,380	0,979
	E	284.902,501	284.902,305	0,196		284.903,514	284.902,612	0,902	
EC04	N	9.109.554,182	9.109.553,684	0,498	0,535	9.109.554,978	9.109.554,595	0,378	0,979
	E	284.779,882	284.779,686	0,196		284.780,896	284.779,993	0,903	
CT08	N	9.109.471,890	9.109.471,391	0,499	0,535	9.109.472,681	9.109.472,301	0,380	0,977
	E	284.740,352	284.740,158	0,194		284.741,365	284.740,465	0,900	
T1	N	9.109.500,159	9.109.499,659	0,500	0,537	9.109.500,950	9.109.500,570	0,380	0,980
	E	284.822,355	284.822,158	0,197		284.823,368	284.822,465	0,903	
TEATRO	N	9.109.476,659	9.109.476,157	0,502	0,537	9.109.477,450	9.109.477,068	0,382	0,976
	E	285.026,668	285.026,476	0,192		285.027,681	285.026,783	0,898	
MON	N	9.109.515,807	9.109.515,306	0,501	0,539	9.109.516,598	9.109.516,217	0,381	0,982
	E	285.075,929	285.075,731	0,198		285.076,943	285.076,038	0,905	

Conclui-se com isso a importância de se ter uma maior densificação de pontos, constituindo-se numa rede de qualidade, para apoiar os levantamentos de limites de imóveis rurais, uma vez que o georreferenciamento deverá ser feito à pelo menos dois pontos do SGB.

### 5.3 Levantamento do Sítio Vale Encantado em Macaparana/PE

O segundo experimento realizado foi o levantamento de um imóvel rural, utilizando-se mais uma vez o posicionamento por GPS e a taqueometria eletrônica.

O imóvel, denominado Sítio Vale Encantado, possui uma área de aproximadamente 3,50ha e situa-se na zona rural do município de Macaparana/PE, distante cerca de 6 quilômetros de sua sede. Sua topografia é acidentada, com vegetação predominantemente de pasto e uma pequena porção destinada à fruticultura. Como benfeitorias existem três casas e um açude.

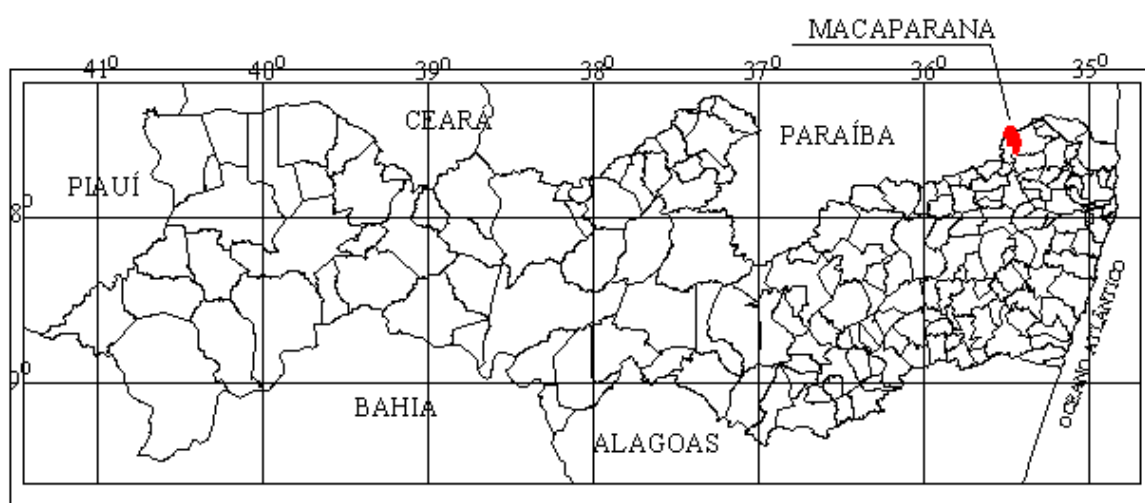


Figura 25 - Localização do município de Macaparana  
Fonte: Sectma (Secretaria de Tecnologia e Meio Ambiente do estado de PE), 2001.

Apesar da tecnologia de posicionamento GPS estar sendo muito difundida e apresentar métodos de levantamento que atendem perfeitamente a precisões superiores aos 50 centímetros exigidos pela lei 10.267/01, nem sempre é possível a execução do levantamento utilizando-se apenas este método. Por exemplo, é comum a existência de árvores de grande porte nos limites. Assim, o profissional deve estar preparado para a necessidade de utilizar métodos mistos (GPS + métodos terrestres) para a determinação de limites de imóveis rurais.

Neste experimento realizou-se o levantamento do imóvel com a determinação de alguns vértices por posicionamento GPS e outros, nos quais não foi possível o posicionamento por satélite, por taqueometria eletrônica. O posicionamento GPS foi usado para o rastreo de dois pontos dentro da propriedade, com o objetivo de



estabelecer um azimute de partida e georreferenciar o levantamento ao SGB. Além disso, estes pontos serviram de base para a determinação das coordenadas de cinco dos pontos de limites de propriedade, os quais, de acordo com as normas do INCRA, são denominados de vértices. O método da poligonação foi utilizado no estabelecimento de uma rede, dentro do imóvel, para dar apoio ao levantamento dos pontos de limite da propriedade. Os pontos de limite foram irradiados de cada estação das poligonais formadas. Nesse caso, torna-se necessário realizar a propagação dos erros da estação de referência até o limite da propriedade, a fim de verificar se a sua precisão atende às exigências da lei.

A campanha foi realizada nos dias 30 e 31 de agosto de 2003, com estação total TC-500 e receptores GTR1/SIGHT-GPS, com portadora L1, por ser economicamente mais acessível para os usuários. As anotações feitas em campo, referentes a estação ocupada, equipamento utilizado, altura da antena do receptor, horário de início e término do rastreamento e o método de rastreamento, apresentam-se nas fichas de anotação do relatório de campo, conforme tabelas 10 e 11. As observações do levantamento taqueométrico podem ser vistas em anexo e os dados do rastreamento estão disponíveis em CD-ROM. A delimitação da área levantada pode ser vista na figura 30 .

### 5.3.1 Levantamento por GPS

Para o georreferenciamento ao SGB, foram implantados dois pontos de apoio planimétrico dentro da área do Sítio Vale Encantado. O levantamento envolveu uma figura fechada, utilizando-se o método estático de rastreamento simultâneo, com 1 hora de duração e taxa de coleta de 15 segundos, tendo como vértices do triângulo os pontos E1, E2 e RECF (RBMC), cujos lados tem comprimento de 83,068Km, 83,038Km e 58,104 m (figura 28). Nesse caso considerou-se como vértice fixo o ponto RECF (RBMC).

A figura 26 é apenas uma ilustração, que indica a disposição dos pontos em campo, uma vez que não está representada em escala. O esquema real pode ser visualizado na figura 27. Como as estações E1 e E2 estão muito próximas, no esquema da figura 27 elas estão sobrepostas. Essa vista gráfica é proveniente do processamento utilizando-se o software GPSurvey.

A figura 27 mostra a determinação dos pontos de apoio E1 e E2, considerando-se as linhas de base independentes, utilizando-se as coordenadas geodésicas, em WGS-84, da estação conhecida.

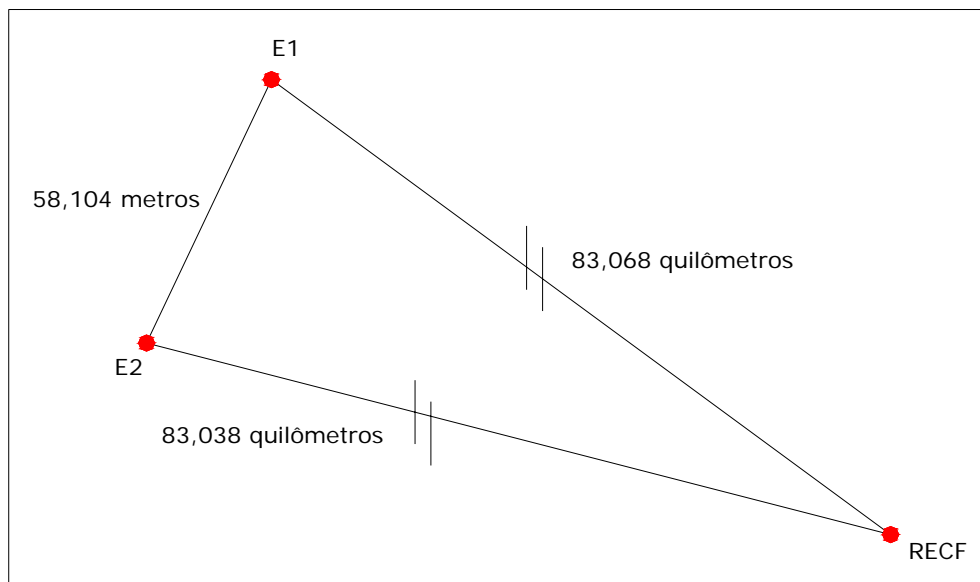


Figura 26 - Esquema do triângulo E1-E2-RECF

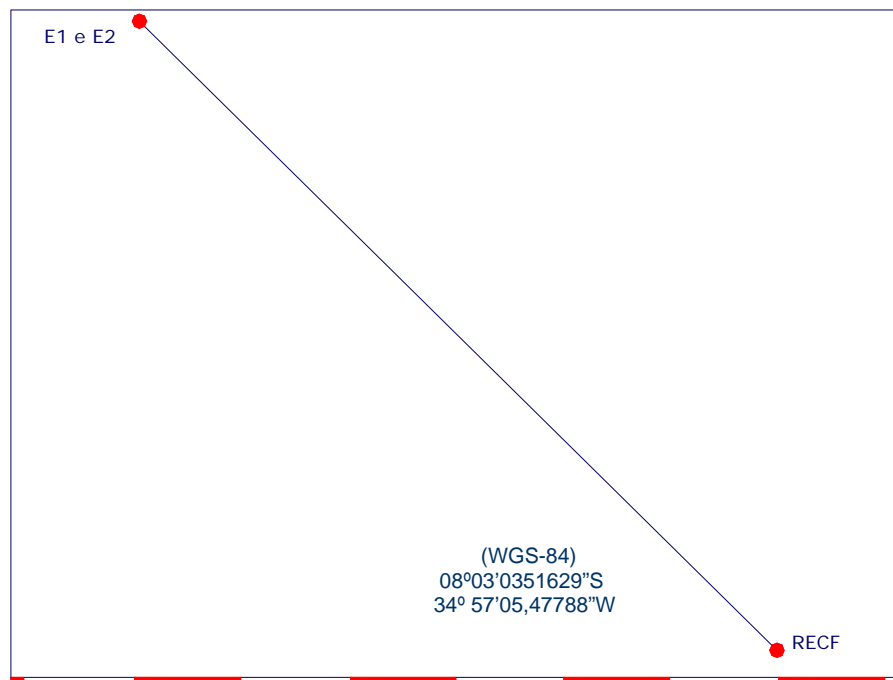


Figura 27- Determinação dos pontos de apoio E1 e E2 a partir da estação RECF

Segundo o INCRA (2003): “vértice é todo local onde a linha limítrofe do imóvel muda de direção ou onde existe interseção desta linha com qualquer outra linha limítrofe de imóveis contíguos”.

Foram considerados, neste imóvel, apenas cinco pontos denominados de vértices e nomeados por M1, M2, M3, M4 e M5. A figura 28 apresenta a configuração desses pontos.

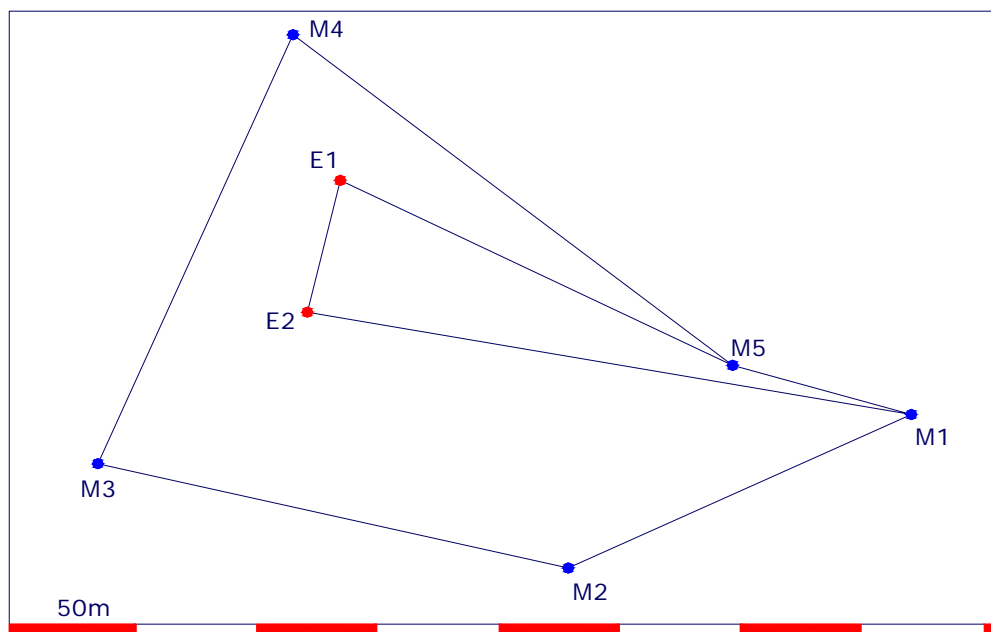


Figura 28 – Disposição geométrica dos vértices e os pontos de apoio

Utilizou-se o seguinte procedimento para o rastreamento dos vértices da propriedade: depois de estabelecida a linha de base E1-E2, os receptores foram desligados. O receptor que estava ocupando o ponto E1 foi deslocado para o vértice M1, enquanto o receptor do ponto E2 permaneceu no local. Concluída a instalação do equipamento no vértice M1, os equipamentos foram ligados simultaneamente, permanecendo nessa posição por um período de aproximadamente 30 minutos. Novamente os receptores foram desligados, agora com o equipamento fixo em M1 e deslocado do ponto E2 para o vértice M5, permanecendo nessa posição, também, por 30 minutos. Em seguida, o equipamento foi deslocado do vértice M5 para o vértice M2, permanecendo mais uma vez, ainda, fixo no vértice M1. Esse fato ocorreu devido a facilidade de deslocamento de M5 para M2 em relação ao deslocamento de M1 para M4. Nessa posição, os pontos foram rastreados por 30 minutos. Do vértice M1, o receptor foi deslocado para o vértice M3, enquanto o

equipamento permaneceu fixo em M2, rastreando por mais 30 minutos. Com o equipamento fixo em M3, o outro se deslocou para o vértice M4 e finalmente, os equipamentos foram deslocados para o vértice M5 e para o ponto E1. A figura 29 ilustra o esquema de deslocamento dos equipamentos.

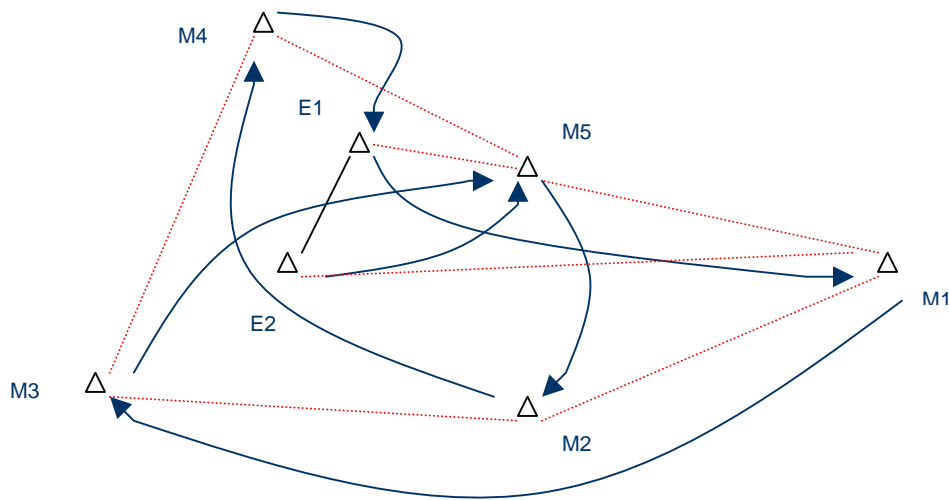


Figura 29 - Esquema de deslocamento dos equipamentos

### 5.3.2 Levantamento taqueométrico

A partir dos pontos E1 e E2, foram estabelecidas quatro poligonais por taqueometria eletrônica, denominadas: Poligonal 1: E1-E2-E3-E1; Poligonal 2 : E2-E4-E1; Poligonal 3: E2-E4-E5-E2 e Poligonal 4: A1-E3-E2-E5-A2-A3-M2-A4-A5-A1, constituindo-se uma rede utilizada como apoio ao levantamento dos pontos definidores dos limites da propriedade. Esses pontos foram implantados de maneira que permitissem a visada de todos os limites da propriedade, irradiados pelo método polar.

Os fechamentos angulares e lineares dessas poligonais podem ser observados na tabela 09.

Tabela 09 – Fechamentos angulares e lineares das poligonais

Poligonal	Fechamento angular	Fechamento linear
1	0° 00'39"	2,16 centímetros
2	0° 03'00"	10,74 centímetros
3	0° 03'25"	8,04 centímetros
4	0° 03'40"	7,02 centímetros

Identificaram-se e observaram-se 49 pontos, nomeados de L1 a L49 e mais os cinco pontos denominados de vértices, somando um total de 54 pontos definidores dos limites da propriedade, devido às sinuosidades das linhas limítrofes.

A figura 30 representa o esquema das poligonais utilizadas como apoio ao levantamento e o contorno da área levantada com os pontos de limite da propriedade.

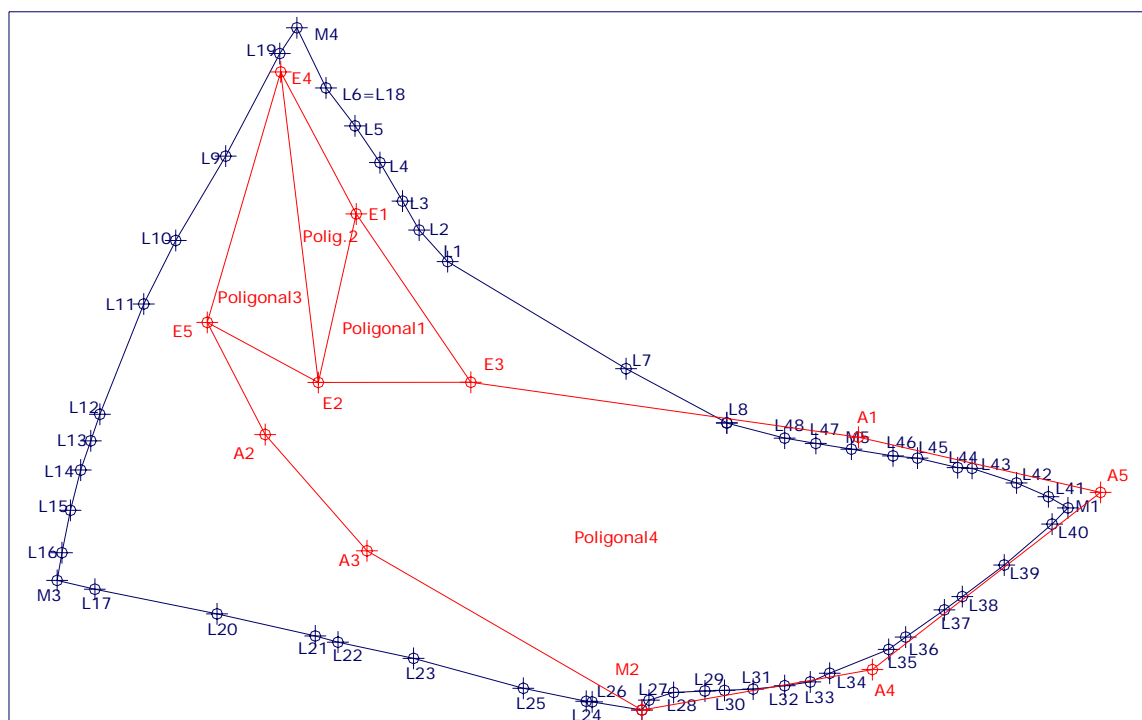


Figura 30 - Esquema da rede de apoio ao levantamento e os limites da propriedade

### 5.3.3 Cálculo das coordenadas dos pontos da rede

Para o cálculo das coordenadas dos pontos E1 e E2, utilizou-se o programa GPSURVEY. As informações contidas nas fichas de anotação 01 e 02 do relatório de campo, ou seja, altura da antena, tempo de rastreo, apresentadas nas tabelas 10 e 11 respectivamente, foram utilizadas como dados de entrada do programa, para o processamento dos dados, como também, as coordenadas da estação de referência, RECF, pertencente a RBMC, mostradas na figura 29.

Tabela 10 – Caderneta de campo 01

<b>RELATÓRIO DE CAMPO – FICHA DE ANOTAÇÃO 01</b> DATA: 31/08/2003 LOCAL: Sítio Vale Encantado – Macaparana/PE				
ESTAÇÃO	EQUIPAMENTO (CÓDIGO)	ALTURA ANTENA	INÍCIO/TÉRMINO	MODO DE RASTREIO
E2	GTR1 (nº02) L1	1,17 m	08:27 / 09:30	ESTÁTICO
E2	GTR-1 (nº02) L1	1,07m	10:40 / 11:08	ESTÁTICO
M5	GTR-1 (nº02) L1	1,70 m	11:20 / 11:47	ESTÁTICO
M2	GTR-1 (nº02) L1	1,14m	12:01 / 12:36	ESTÁTICO
M2	GTR-1 (nº02) L1	1,14m	13:10 / 13:30	ESTÁTICO
M4	GTR-1 (nº02) L1	1,24m	13:50 / 15:14	ESTÁTICO
E1	GTR-1 (nº02) L1	1,24m	15:27 / 15:50	ESTÁTICO

Tabela 11 – Caderneta de campo 02

<b>RELATÓRIO DE CAMPO – FICHA DE ANOTAÇÃO 02</b> DATA: 31/08/2003 LOCAL: Sítio Vale Encantado – Macaparana/PE				
ESTAÇÃO	EQUIPAMENTO (CÓDIGO)	ALTURA ANTENA	INÍCIO/TÉRMINO	MODO DE RASTREIO
E1	GTR1 (nº01) L1	1,20 m	08:27 / 09:30	ESTÁTICO
M1	GTR-1 (nº01) L1	1,20m	10:40 / 11:05	ESTÁTICO
M1	GTR-1 (nº01) L1	1,20 m	11:20 / 11:47	ESTÁTICO
M1	GTR-1 (nº01) L1	1,20m	12:00 / 12:35	ESTÁTICO
M3	GTR-1 (nº01) L1	0,97m	13:08 / 13:38	ESTÁTICO
M3	GTR-1 (nº01) L1	0,97m	13:50 / 14:15	ESTÁTICO
M5	GTR-1 (nº01) L1	1,14m	14:45 / 15:57	ESTÁTICO

Adotou-se a estação RECF como referência fixa. As coordenadas da estação RECF, bem como os dados de rastreio, para a data do levantamento, foram acessados na internet, através do site [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br), utilizando-se o seguinte caminho: Geociências, Geodésia e RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo.

Os resultados do processamento das linhas de base estão apresentados na tabela 12.

Tabela 12 – Comprimento e desvio padrão das linhas RECF- E1 e RECF- E2

Linha de base	Tipo de solução	Distância	$\sigma$ (m)
RECF- E1	<i>Float</i>	83,068 Km	0,045
RECF- E2	<i>Float</i>	83,038 Km	0,042

A terceira coluna mostra o comprimento da linha de base processada, enquanto que a última coluna apresenta o valor obtido para o desvio padrão dessa linha de base. Esses desvios estão de acordo com o especificado nas normas.

Em seguida foram calculadas as coordenadas geodésicas dos pontos de apoio planimétrico E1 e E2. A Tabela 13 mostra as coordenadas geodésicas e planas UTM obtidas para esses pontos, em SAD-69, visualizadas nas colunas 1 e 2.

Tabela 13: Coordenadas dos pontos de apoio E1 e E2 e seus respectivos desvios padrão

Coordenadas Geodésicas Ponto E1 (SAD-69)		Coordenadas Planas UTM Ponto E1 (SAD-69)		Desvio Padrão		
Latitude	Longitude	N (m)	E (m)	$\sigma_N$ ( m )	$\sigma_E$ ( m )	$\sigma$ ( m )
07°31'29,57067"S	35°29'20,60631"W	9.167.442,142	225.314,716	0,013	0,031	0,034
Coordenadas Geodésicas Ponto E2 (SAD-69)		Coordenadas Planas UTM Ponto E2 (SAD-69)		Desvio Padrão		
Latitude	Longitude	N (m)	E (m)	$\sigma_N$ ( m )	$\sigma_E$ ( m )	$\sigma$ ( m )
07°31'31,39738"S	35°29'21,03002"W	9.167.385,921	225.302,039	0,013	0,031	0,034

Observa-se na tabela 13 que os resultados para o desvio padrão dos pontos de apoio atendem as normas do INCRA, para 10 ou 20 centímetros. Mais uma vez,

é questionável a confiabilidade posicional desses pontos, considerando-se mais de 80 quilômetros de distância para a estação de referência, apenas 1 hora de rastreo, equipamento de frequência única, entre outros fatores.

Utilizando-se o programa TOPOGRAPH e uma planilha em linguagem EXCEL, desenvolvida especificamente para este levantamento, calcularam-se as coordenadas dos demais pontos da rede: E3, E4, E5, A1, A2, A3, A4, A5 e M2. Utilizou-se como dados de entrada as observações de campo, ou seja, observações de ângulos e distâncias, apresentadas em anexo, e as coordenadas planas, no sistema UTM, dos pontos E1 e E2 mostradas na tabela 13. Os resultados para as coordenadas podem ser vistos na tabela 14.

Tabela 14 - Coordenadas planas iniciais dos pontos da rede – SAD 69

Estação	N (m)	E (m)
E3	9.167.385,7269	225.353,1743
E4	9.167.489,3193	225.289,6553
E5	9.167.405,7751	225.265,1030
A1	9.167.367,2691	225.482,6175
A2	9.167.368,2560	225.284,5096
A3	9.167.329,4272	225.318,4974
A4	9.167.289,6949	225.487,2273
A5	9.167.348,7643	225.563,5178
M2	9.167.276,2286	225.410,2609

Adotaram-se as coordenadas plano-retangulares iniciais mostradas na tabela 14 como valores aproximados para o ajustamento.

Todos os pontos da rede (E3, E4, E5, A1, A2, A3, A4, A5 e M2) tiveram suas coordenadas ajustadas pelo Método dos Mínimos Quadrados, após a décima iteração, em uma planilha na linguagem EXCEL. A qualidade do ajustamento foi testada através do teste de hipótese baseado na distribuição do Qui-Quadrado, comparando-se a discrepância entre os valores da variância a priori e a posteriori.

Os resultados com as coordenadas planas ajustadas, o desvio padrão e os parâmetros das elipses de erro, apresentam-se nas tabelas 15 e 16.



Tabela 15 - Coordenadas planas ajustadas e desvio padrão de cada estação de apoio ao levantamento dos limites de propriedade – SAD 69

Estação	N(m)	E(m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma$ (m)
E3	9.167.385,773	225.353,165	0,015	0,020	0,025
E4	9.167.489,334	225.289,663	0,030	0,023	0,038
E5	9.167.405,767	225.265,103	0,022	0,026	0,034
A1	9.167.367,450	225.482,603	0,063	0,064	0,090
A2	9.167.368,344	225.284,459	0,047	0,048	0,067
A3	9.167.329,552	225.318,480	0,056	0,066	0,087
A4	9.167.289,913	225.487,271	0,071	0,089	0,114
A5	9.167.349,022	225.563,501	0,098	0,079	0,126
M2	9.167.276,403	225.410,307	0,053	0,088	0,103

Tabela 16 - Parâmetros das elipses de erro de cada estação de apoio ao levantamento dos limites de propriedade

Estação	Variância		Semi-eixos		Ângulo crítico ( $^{\circ}$ )
	Máxima	Mínima	Maior ( a )	Menor ( b )	
E3	0,0004	0,0002	0,020	0,015	89,9685
E4	0,0011	0,0004	0,033	0,019	30,9160
E5	0,0009	0,0002	0,031	0,015	54,6778
A1	0,0043	0,0038	0,065	0,062	47,4019
A2	0,0042	0,0003	0,065	0,018	45,8665
A3	0,0070	0,0004	0,084	0,021	49,9656
A4	0,0082	0,0047	0,091	0,069	16,8331
A5	0,0096	0,0062	0,098	0,079	0,1620
M2	0,0080	0,0024	0,090	0,049	74,4639

### 5.3.4 Cálculo das coordenadas dos limites de propriedade

#### 5.3.4.1 Determinação dos cinco vértices da propriedade

Utilizou-se o modo ADJUST do programa GPSURVEY 2.35 para o ajustamento dos dados GPS coletados nos vértices M1, M2, M3, M4 e M5.

Adotou-se o seguinte procedimento: inicialmente tomou-se como fixo o ponto de apoio E2. Utilizou-se a coordenada desse ponto para determinação das coordenadas do vértice M1. Agora, M1 foi considerado como ponto de coordenada conhecida e utilizada para determinação dos vértices M5 e M2. Com M2 conhecido determinou-se a posição do vértice M3. A partir de M3 determinou-se M4 e com as coordenadas de M4 encontrou-se novamente as coordenadas de M5. Finalmente, para fechamento da figura, utilizou-se essa segunda coordenada do vértice M5 para calcular a coordenada de E1 e com ela encontrar novamente a coordenada do ponto

de partida E2, completando o circuito. A tabela 17 apresenta os valores calculados para as coordenadas dos vértices e seus respectivos desvios padrão.

Tabela 17 – Coordenadas dos vértices e desvio padrão - SAD 69

Vértice	N(m)	E(m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma$ (m)
M1	9.167.343,822	225.552,681	0,001	0,002	0,010
M5	9.167.363,444	225.480,350	0,001	0,002	0,010
M2	9.167.276,310	225.410,339	0,001	0,002	0,010
M3	9.167.319,643	225.215,335	0,018	0,042	0,050
M4	9.167.504,052	225.295,271	0,021	0,045	0,050
M5	9.167.363,480	225.480,606	0,001	0,002	0,010
Ponto de apoio	N(m)	E(m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma$ (m)
E1	9.167.442,185	225.314,999	0,001	0,002	0,010
E2	9.167.385,964	225.302,322	0,0003	0,0005	0,0001

Analisando-se os resultados da tabela 17, percebe-se que, a incerteza posicional obtida para cada ponto delimitador da propriedade atende aos 50 centímetros estabelecidos na lei 10.267/01. Porém, ao serem comparadas as duas coordenadas obtidas para o vértice M5, nota-se um deslocamento de 26 centímetros da segunda determinação em relação à primeira. No fechamento do circuito, as coordenadas dos pontos de apoio E1 e E2 também sofreram um deslocamento, pois, ao serem comparados os valores mostrados na tabela 13 com os valores da tabela 17, observa-se um deslocamento de 28,6 centímetros. Esses valores estão apresentados na tabela 18.

Tabela 18: Deslocamento ocorrido para o vértice e os pontos de apoio

Pontos	$\Delta N$ (m)	$\Delta E$ (m)	$\Delta$ (m)
M5	0,040	0,256	0,260
E1	0,043	0,283	0,286
E2	0,043	0,283	0,286

Vale salientar ainda que, nas determinações das linhas de base, mostradas na figura 28, dois dos lados da propriedade não apresentaram resultados satisfatórios, quanto ao tipo de solução, como mostra a tabela 19.

Tabela 19: Determinação das linhas de base

Linha de base	Tipo de solução	Distância	$\sigma_{(m)}$
E2-M1	<i>Fixed</i>	255,311 metros	0,0015
M1-M5	<i>Fixed</i>	75,342 metros	0,0024
M1-M2	<i>Fixed</i>	157,479 metros	0,0016
M2-M3	<i>Float</i>	199,699 metros	0,0420
M3-M4	<i>Float</i>	204,426 metros	0,0250
M4-M5	<i>Fixed</i>	234,628 metros	0,0016
M5-E1	<i>Fixed</i>	184,976 metros	0,0020
E1-E2	<i>Fixed</i>	58,105 metros	0,0005

O tipo de solução float não é esperado para as linhas de base M2-M3 e M3-M4, considerando-se uma distância relativamente curta. Como a área é muito acidentada e montanhosa, entre os pontos dessas linhas de base existe uma elevação da ordem de 20 metros de altura aproximadamente, esse fato pode ter influenciado na determinação desses pontos, os quais deveriam ser reocupados.

#### 5.3.4.2 Determinação dos cinquenta e quatro pontos de limite da propriedade

Utilizou-se a planilha em linguagem EXCEL, mencionada anteriormente, para o cálculo das coordenadas dos 54 pontos delimitadores da propriedade.

Além das observações de campo apresentadas na tabela em anexo, utilizou-se, também, como dados de entrada, as coordenadas dos pontos de apoio, mostradas na tabela 13 e as coordenadas planas ajustadas dos demais pontos da rede, apresentadas na tabela 15.

Uma vez que não houve o ajustamento conjunto dos pontos da rede e dos pontos de limite da propriedade, nesse experimento utilizou-se a lei de propagação das variâncias, das estações, pertencentes à rede de apoio ao levantamento, para os pontos irradiados que delimitam a propriedade. Com isso, calcularam-se os

desvios padrão e os parâmetros de orientação das elipses de erro, para cada um dos pontos definidores dos limites da propriedade.

Esses valores estão mostrados nas tabelas 20 e 21.

Tabela 20 - Coordenadas dos limites de propriedade e seus respectivos desvios padrão

<b>LIMITES DE PROPRIEDADE</b>					
<b>Limite</b>	<b>Coordenadas UTM – SAD 69</b>				
	<b>N (m)</b>	<b><math>\sigma_N</math> ( m )</b>	<b>E(m)</b>	<b><math>\sigma_E</math> ( m )</b>	<b><math>\sigma</math> (m)</b>
<b>L01</b>	9167426,266	0,031	225345,233	0,055	0,063
<b>L02</b>	9167436,770	0,021	225335,701	0,058	0,062
<b>L03</b>	9167446,437	0,021	225330,143	0,057	0,061
<b>L04</b>	9167459,285	0,047	225322,610	0,039	0,061
<b>L05</b>	9167471,515	0,052	225314,294	0,035	0,063
<b>L06</b>	9167484,187	0,051	225304,580	0,041	0,065
<b>L07</b>	9167390,077	0,029	225405,041	0,054	0,061
<b>L08</b>	9167371,931	0,044	225438,581	0,054	0,070
<b>L09</b>	9167461,215	0,054	225271,247	0,039	0,067
<b>L10</b>	9167433,101	0,052	225254,573	0,035	0,063
<b>L11</b>	9167411,882	0,028	225243,912	0,055	0,062
<b>L12</b>	9167375,093	0,043	225229,223	0,049	0,065
<b>L13</b>	9167366,252	0,046	225226,216	0,048	0,066
<b>L14</b>	9167356,490	0,049	225222,821	0,049	0,069
<b>L15</b>	9167343,069	0,051	225219,437	0,051	0,072
<b>L16</b>	9167328,922	0,053	225216,585	0,054	0,076
<b>L17</b>	9167316,751	0,054	225227,569	0,055	0,077
<b>L18</b>	9167484,197	0,035	225304,618	0,053	0,064
<b>L19</b>	9167495,456	0,058	225289,321	0,024	0,063
<b>L20</b>	9167308,525	0,071	225268,376	0,094	0,118
<b>L21</b>	9167301,117	0,071	225301,214	0,102	0,124
<b>L22</b>	9167299,077	0,074	225308,760	0,105	0,128
<b>L23</b>	9167293,672	0,076	225334,006	0,088	0,116
<b>L24</b>	9167279,367	0,129	225391,689	0,109	0,169
<b>L25</b>	9167283,685	0,064	225370,703	0,101	0,120
<b>L26</b>	9167279,143	0,055	225393,679	0,100	0,114
<b>L27</b>	9167279,726	0,067	225412,648	0,092	0,114
<b>L28</b>	9167282,298	0,059	225420,886	0,098	0,114
<b>L29</b>	9167282,799	0,058	225431,329	0,100	0,116
<b>L30</b>	9167282,970	0,059	225437,862	0,100	0,116
<b>L31</b>	9167283,421	0,062	225447,440	0,101	0,119
<b>L32</b>	9167284,483	0,079	225457,916	0,102	0,129
<b>L32</b>	9167284,559	0,067	225457,979	0,101	0,121
<b>L33</b>	9167286,550	0,075	225466,527	0,102	0,127
<b>L33</b>	9167286,572	0,072	225466,547	0,101	0,124
<b>L34</b>	9167288,697	0,073	225473,020	0,102	0,125
<b>L35</b>	9167296,660	0,081	225492,709	0,095	0,125
<b>L36</b>	9167300,751	0,080	225498,406	0,097	0,126
<b>L37</b>	9167309,862	0,083	225511,316	0,100	0,130
<b>L38</b>	9167314,262	0,085	225517,311	0,101	0,132

<b>L39</b>	9167324,816	0,093	225531,296	0,106	0,141
<b>L40</b>	9167338,444	0,104	225547,316	0,090	0,138
<b>L41</b>	9167347,611	0,101	225546,054	0,093	0,137
<b>L42</b>	9167352,183	0,105	225535,418	0,093	0,140
<b>L43</b>	9167357,053	0,113	225520,566	0,093	0,146
<b>L44</b>	9167357,289	0,116	225515,779	0,094	0,149
<b>L45</b>	9167360,454	0,080	225502,359	0,071	0,107
<b>L46</b>	9167361,204	0,070	225494,147	0,078	0,105
<b>L47</b>	9167365,369	0,067	225468,374	0,081	0,105
<b>L48</b>	9167367,130	0,073	225457,961	0,081	0,109
<b>L49</b>	9167372,178	0,090	225438,679	0,081	0,121
<b>M1</b>	9167343,864	0,102	225552,596	0,091	0,137
<b>M2</b>	9167276,450	0,154	225410,302	0,113	0,191
<b>M3</b>	9167319,664	0,054	225214,980	0,056	0,078
<b>M4</b>	9167504,031	0,056	225295,051	0,030	0,064
<b>M5</b>	9167363,455	0,077	225480,262	0,069	0,103

Tabela 21 - Parâmetros das elipses de erro para os pontos limite irradiados a partir de cada estação

Estação	Limite	VARIÂNCIA		SEMI-EIXOS		Âng. Crítico ( ° )
		Máxima	Mínima	Maior ( a )	Menor ( b )	
E1	L1	0,0034	0,0006	0,058	0,025	21,726
	L2	0,0034	0,0003	0,059	0,019	11,130
	L3	0,0034	0,0003	0,058	0,017	11,984
	L4	0,0029	0,0009	0,054	0,029	56,121
	L5	0,0027	0,0012	0,052	0,035	88,640
	L6	0,0028	0,0014	0,053	0,038	65,975
E3	L7	0,0029	0,0008	0,054	0,029	4,3119
	L8	0,0030	0,0019	0,055	0,043	16,8805
E5	L9	0,0030	0,0015	0,055	0,038	80,609
	L10	0,0030	0,0008	0,055	0,029	24,054
	L11	0,0032	0,0006	0,057	0,024	74,859
	L12	0,0033	0,0009	0,057	0,031	38,439
	L13	0,0033	0,0011	0,058	0,033	42,406
	L14	0,0042	0,0005	0,065	0,022	44,902
	L15	0,0035	0,0016	0,060	0,040	46,084
	L16	0,0037	0,0020	0,061	0,045	44,187
	M3	0,0038	0,0023	0,062	0,048	40,644
	L17	0,0036	0,0024	0,060	0,049	42,271
E4	L18	0,0031	0,0009	0,056	0,030	68,272
	M4	0,0034	0,0006	0,058	0,025	72,210
	L19	0,0034	0,0006	0,058	0,024	2,822
A2	L20	0,0090	0,0047	0,095	0,069	75,346
	L21	0,0107	0,0047	0,104	0,069	13,730
	L22	0,0129	0,0036	0,114	0,060	26,885
A3	L23	0,0127	0,0009	0,113	0,030	9,168
	L24	0,0216	0,0070	0,147	0,084	54,376
	M2	0,0323	0,0043	0,180	0,066	56,474

<b>M2</b>	<b>L25</b>	0,0101	0,0040	0,101	0,063	87,388
	<b>L26</b>	0,0101	0,0030	0,101	0,055	86,963
	<b>L27</b>	0,0088	0,0041	0,094	0,064	15,068
	<b>L28</b>	0,0098	0,0033	0,099	0,057	9,256
	<b>L29</b>	0,0100	0,0033	0,100	0,057	5,266
	<b>L30</b>	0,0101	0,0035	0,100	0,059	0,582
	<b>L31</b>	0,0101	0,0039	0,101	0,062	2,810
	<b>L32</b>	0,0101	0,0045	0,101	0,067	1,955
	<b>L33</b>	0,0102	0,0052	0,101	0,072	1,246
<b>A4</b>	<b>L32</b>	0,0104	0,0063	0,102	0,079	3,490
	<b>L33</b>	0,0104	0,0056	0,102	0,075	3,730
	<b>L34</b>	0,0104	0,0053	0,102	0,073	2,128
	<b>L35</b>	0,0095	0,0061	0,097	0,078	22,046
	<b>L36</b>	0,0097	0,0060	0,099	0,078	18,164
	<b>L37</b>	0,0100	0,0068	0,100	0,082	5,259
	<b>L38</b>	0,0103	0,0072	0,102	0,085	6,072
	<b>L39</b>	0,0113	0,0085	0,106	0,092	75,934
<b>A5</b>	<b>M1</b>	0,0107	0,0080	0,1032	0,0893	69,386
	<b>L40</b>	0,0111	0,0079	0,1054	0,0888	73,227
	<b>L41</b>	0,0121	0,0068	0,1099	0,0825	36,844
	<b>L42</b>	0,0110	0,0087	0,1049	0,0933	3,664
	<b>L43</b>	0,0128	0,0087	0,1131	0,0935	89,214
	<b>L44</b>	0,0135	0,0088	0,1161	0,0936	88,062
<b>A1</b>	<b>L45</b>	0,0066	0,0049	0,081	0,070	70,304
	<b>L46</b>	0,0066	0,0044	0,081	0,066	61,843
	<b>M5</b>	0,0065	0,0041	0,081	0,064	59,196
	<b>L47</b>	0,0066	0,0045	0,081	0,067	8,297
	<b>L48</b>	0,0066	0,0053	0,081	0,073	0,780
	<b>L49</b>	0,0080	0,0066	0,090	0,081	85,046

De acordo com os indicadores de incerteza posicional para os pontos de limite de propriedade, expressos nas tabelas 20 e 21, observa-se que a precisão de todos os pontos é melhor que os 50 centímetros exigidos pela lei 10.267/01.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A abordagem da determinação de limites de unidades territoriais ora realizada contribui para os estudos cadastrais por descrever as formas adotadas em alguns países para a caracterização desses limites. O entendimento desses processos e dos conceitos neles envolvidos é relevante para o Brasil, que passa por profundas mudanças na sua organização fundiária, com o advento da Lei 10.267/2001.

A partir da aplicação da nova legislação, o resultado do trabalho do profissional dedicado às atividades cadastrais passa a ter um caráter jurídico, sem precedentes na legislação brasileira. A descrição do imóvel rural no Registro de Imóveis passa a ter caráter geodésico, em substituição à descrição literal, até então vigente. O produto do levantamento, portanto, passa a cumprir a função de garantia dos limites de propriedade.

A exigência de um valor de precisão para cada coordenada dos vértices que constituem os limites torna necessária a realização do ajustamento das observações. O documento Normas para Georreferenciamento de Imóveis Rurais, publicado pelo INCRA em 2003, apresenta métodos possíveis de serem utilizados para a execução dos levantamentos. No entanto, não trata de casos nos quais seja necessária a aplicação de métodos conjugados (GPS + levantamentos terrestres). Nos experimentos realizados nessa pesquisa, portanto, procurou-se aplicar os conceitos estudados, relativos à determinação de limites e qualidade dos levantamentos, a casos de levantamentos realizados pela interseção dos dois métodos.

## 6.1 Conclusões

A partir dos resultados obtidos e das análises realizadas, chegou-se às conclusões a seguir.

a) o estudo das alternativas utilizadas internacionalmente para a caracterização dos limites de imóveis indica a adoção no Brasil, a partir da Lei 10.267/2001, de uma caracterização de imóveis rurais através de limites fixos ou específicos, de maior precisão e custo mais elevado do que os limites gerais adotados em alguns países.

b) os experimentos realizados com o objetivo de testar a adequação das redes de referência oficiais para o georreferenciamento dos imóveis demonstrou que a sua densidade não foi suficiente para atender às exigências da legislação na área de estudo. Nos casos estudados, situados na Região Metropolitana do Recife e Zona da Mata Norte Pernambucana, não foi possível o georreferenciamento a partir de dois pontos da rede, conforme sugere a Norma. A RIBaC foi utilizada, apesar de não estar ainda homologada pelo IBGE, a fim de tornar possível a realização dos testes. Optou-se por testar, nesta pesquisa, a utilização de receptores GPS de uma frequência para o georreferenciamento. Nos testes realizados, a determinação dos pontos de apoio foi realizada com rastreamento de cerca de 5h (Campus) e 1h (Macaparana). Os resultados, no entanto, não devem ainda ser extrapolados para qualquer outra situação, sendo importante que sejam realizadas novas experiências para confirmação dessas constatações. No planejamento do levantamento, é importante que se faça uma análise da relação custo-benefício, para se verificar se é mais viável aumentar o tempo de rastreamento e utilizar equipamentos de uma frequência, ou utilizar equipamentos de dupla frequência, mais precisos e conseqüentemente de custo mais elevado, com um tempo reduzido de rastreamento.

c) É imprescindível explicitar a qualidade métrica dos levantamentos, adotando-se o Método dos Mínimos Quadrados e a Lei de Propagação das Variâncias como referências estatísticas para o cálculo da precisão posicional. As Normas Técnicas para Georreferenciamento de Imóveis Rurais recomenda, mas não exige o ajustamento das medições do levantamento. Neste trabalho, descreve-se em detalhe o processo de ajustamento e a propagação de erros dos levantamentos



realizados por taqueometria. Inicialmente, o ajustamento foi aplicado á determinação da precisão dos pontos de apoio. Em seguida, por propagação de erros, obteve-se a precisão de cada ponto de limite da propriedade levantada. Utilizou-se como indicador de precisão a elipse de erros, amplamente utilizada nos meios geodésicos. Os resultados indicaram que os procedimentos utilizados atendem às exigências de precisão estabelecidas a partir da Lei 10.267/2001.

## **6.2 Recomendações**

Além das conclusões apresentadas, foram identificadas outras ações que são propostas a título de recomendações, como continuidade da pesquisa ou ações institucionais que podem tornar mais rápido o processo de organização do meio rural que ora se inicia.

a) É importante e urgente que o processo de densificação da RBMC seja agilizado, através da homologação das estações da RIBaC pelo IBGE, a fim de tornar possível o georreferenciamento dos imóveis rurais, dentro da precisão exigida, em qualquer parte do território brasileiro.

b) Deve-se incentivar a implantação de redes de referência estaduais e de pontos de apoio nos municípios, através das prefeituras, estabelecendo-se pequenas redes com precisões melhores que aquelas definidas nas normas do INCRA, para que os levantamentos rurais sejam referenciados a essas redes. Essa proposta tem a vantagem de facilitar a inclusão futura dos imóveis urbanos no processo de georreferenciamento.

c) Propor a inserção na norma do INCRA de exigências para a qualidade métrica dos demais elementos que caracterizam geometricamente o imóvel, tais como, distâncias dos alinhamentos limites, azimutes de alinhamentos limites, ângulos entre alinhamentos limites e área da parcela.

d) Pesquisas também devem ser realizadas no sentido de estudar casos de levantamentos de imóveis vizinhos a outros já georreferenciados.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABNT, NBR 13.133/94 – Execução de Levantamento Topográfico. 1994.

ABNT, NBR 14.166/98 – Rede de Referência Cadastral Municipal - Procedimento 1998.

BRANDÃO, Artur Caldas, PHILIPS, Jürgen. Aperfeiçoamento da medição cadastral de imóveis rurais à luz da lei 10.267/2001. I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife, 2004.

BRANDÃO, Artur Caldas. O Princípio da Vizinhança Geodésica no Levantamento Cadastral de Parcelas Territoriais. Tese de Doutorado (no prelo). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

BRASIL. Lei 6.015, de 31 de dezembro de 1973. Dispõe sobre os Registros Públicos.

BRASIL. Lei 10.267, de 28 de agosto de 2001. Altera dispositivos das Leis nº 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.

BRASIL. Decreto 4.449, de 30 de outubro de 2002. Regulamenta a Lei 10.267 de 28 de agosto de 2001.

BRASIL. Lei de Responsabilidade Fiscal nº 101, de 04 de maio de 2000.

BRASIL. Lei 4.504, de 30 de novembro de 1964. Dispõe sobre o Estatuto da Terra.

BRASIL. Lei 5.868, de 12 de dezembro de 1972. Estabelece o Sistema Nacional de Cadastro Rural.

BRASIL. Constituição da República federativa do Brasil de 1988.

BRASIL. Código Civil Brasileiro ou Lei 10.406, de 10 de janeiro de 2002.

BRASIL. Estatuto da Cidade ou Lei 10.257/2001.

BULLOCK, K. R. *Design Principles for Land Information Systems*. Unisurv Report S24. Kensington: The University of New South Wales, 1983. 310p.

BURITY, E. F.; BRITO, J. L. N. e S. Cadastro: proposta de padronização de terminologia. In: Anais – Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – COBRAC 98.

CAMARGO, P. O. Modelo regional da ionosfera para uso em posicionamento com receptores GPS de uma frequência. Curitiba, 1999. 209p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná.

CARNEIRO, Andréa Flávia Tenório. Possibilidades metodológicas para obtenção de um campo de pontos com vistas ao cálculo do volume de objetos. Curitiba, 1993.95p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná.

CARNEIRO, Andrea Flávia Tenório. Uma proposta de reforma cadastral visando a vinculação entre cadastro e registro de imóveis. Florianópolis, 2000. 175p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 2000.

CARNEIRO, A. F. T.; JACOMINO, S.; LOCH, C., 2000. Tendências do Cadastro Imobiliário. Artigo publicado na revista de Direito Imobiliário nº 48, Ano 23, Janeiro e Junho de 2000.

CARNEIRO, Andréa Flávia Tenório. Cadastro Imobiliário e Registro de Imóveis. SAFEditor. Coleção IRIB em Debate. Porto Alegre, 2003.

DALE, Peter F.; McLAUGHLIN, John D. *Land Information Management – An Introduction with special reference to cadastral problems in Third World countries*. New York: Oxford University. 1990. 265p.

DALMOLIN, Q. Ajustamento por Mínimos Quadrados. Curitiba: Editora UFPR, 2001.

ERBA, Diego A.; LOCH, Carlos. A Lei Nacional de Cadastro: uma necessidade urgente do Brasil. In: CONEA – Congresso Nacional de Engenheiros Agrimensores. Anais. Salvador, 1996.

FIG – Cadastre 2014 – *A Vision for a Future Cadastral System*. FIG, Comission 7, July 1998. 51p.

FORTES, L. P. S. Operacionalização da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC). Tese (Mestrado – Instituto Militar de Engenharia (IME)).

GEMAEL, C. Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas. Curitiba: UFPR. 1984. 204p.

GRUBER, F. J. *Formelsammlung Für Das Vermessungswesen*. Dümmler. Bonn 1989.

HASENACK, Markus. Originais do levantamento topográfico cadastral: possibilidade de sua utilização para a garantia dos limites geométricos dos bens imóveis. Dissertação (Mestrado). Florianópolis, 2000, 130p. – UFSC, Santa Catarina.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. O Sistema Geodésico Brasileiro e a Lei de Georreferenciamento de Imóveis Rurais. I Simpósio de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife, 2004.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sete anos fornecendo referência a posicionamentos GPS no Brasil e exterior. In: XXI Congresso Brasileiro de Cartografia. Belo Horizonte, 2003.

INCRA. Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais. 1ª Ed. Ministério do Desenvolvimento Agrário – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Novembro, 2003.

INMETRO. Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia. 2ª Edição. Brasília, 2000.

KAHMEN, H.; FAIG, W. *Surveying*. Walter Gruyter. Berlin. New York, 1988.

KAUFMANN, Jürg; STEUDLER, Daniel. *Cadastre 2014: A Vision for a Future Cadastral System*. Switzerland: FIG – Working Group 1 of Commission 7, 1998. 51p.

LARSSON, G. *Land Registration and Cadstral Systems: Tools for Land Information and Management*. 89p. 1996.

LEICK, A. *GPS Satellite Surveying*. Wiley, New York, Chichester, Toronto, Brisbane, Singapore. 77p.1994.

MANTHORPE, John. *Study on Key Aspects of Land Registration and Cadastral Legislation*. London: UNECE. 2000.222p.

McLAUGHLIN, J.D.; NICHOLS, S. E. Parcel – Based Land Information Systems. *Surveying and Mapping*, v.47, n.1, march 1997, p.11-29.

MONICO, J. F. G. Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações. Editora UNESP, São Paulo, 2000, 287p.

MONICO, J. F. G. Controle de Qualidade em Levantamentos no Contexto da Lei nº 10.267. *Anais III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas*. 2003.

MÜLLER, R. *Compêndio general de topografia teórico prática – Tomo 1: agrimensura, proyecciones cartográficas y catastro, com lãs tolerâncias de agrimensura legal*. 5 ed. Buenos Aires, Editorial Roberto Muller, 1953.

NABED, A. N. et Al. *Some GPS Guidelines and Recommendations for Large – Scale Applications*. In: *FIG XXII International Congress*. CD.12p.2002.

PINTO, M. M. R. O Profissional com Procuração Pública como Responsável Técnico pelo Cadastro Imobiliário para fins de Registro Público. Florianópolis, 2001. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina.

PHILIPS, Jurgen. Os Dez Mandamentos para um Cadastro Moderno de Bens Imobiliários. In: 2º COBRAC. Anais. Florianópolis 1996.

PHILIPS, Jurgen. Uma projeção Geodésica para o Cadastro Imobiliário Brasileiro. Recife, 1997, 44p.

ROMÃO, V. M. C.; CARNEIRO, <sup>a</sup> F. T.; SILVA, T. F. Rede de referência cadastral municipal: um proposta do grupo de trabalho sobre cadastro municipal (GTCM) do DECart – UFPE. In: Anais II Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – COBRAC. Florianópolis, outubro, 1996.

RUSSEL, S. S.; Schaibly, J. H. *Control Segment and user Performance*. 1978.

SANTOS, A. A. Geodésia Elementar: Princípios de Posicionamento Global – GPS. Editora Universitária, Recife, 2001. 215p.

SEEBER, G. *Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications*. Walter de Gruyter, Berlin New York. 2003. 353p.

SILVA, Tarcísio F. Um Conceito de cadastro Metropolitano. Curitiba, 1979. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geociências. Universidade Federal do Paraná.

SILVA, T. F.; CARNEIRO, A. F. T.; L. A.C. M. de; PHILIPS, J.; ROMÃO, V. M. C.; PORTUGAL, J. L.; JÚNIOR, J. B. M. Necessidade do engenheiro cartógrafo no cadastro de limites de propriedade. In: Anais – Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – COBRAC 98.

SILVA, D. C. Ajustamento de Poligonais Levantadas com GPS. In XXI Congresso Brasileiro de Cartografia. Belo Horizonte, 2003.

SILVA, D. C. Comparação de Especificações e Normas de Levantamentos com GPS. In XXI Congresso Brasileiro de Cartografia. Belo Horizonte, 2003a.

TEUNISSEN, P. J. G. *Mathematische Geodesie II, Faculteit der Geodesie*, Tu Delft, The Netherlands, 1989.

TORGE, W. *Geodesy*. Walter de Gruyter, Berlin, New York. 2001.

WOLF, P. R.; GHILANI, Charles D. *Adjustment Computations – Statistics and Least Squares in Surveying and GIS*. John Wiley & Sons. 1997.

WOLTERS, Jens. *The Extension of Legal Safety to the Physical Information on Property*. In: Workshop on Safety Mechanisms in creation of Immovable. Madrid, 2000.

ZANATTA, Odair. A titulação de terra rural no Brasil. In: Simpósio Internacional de Experiência Fundiária. Salvador, 1984. Anais. Brasília: INCRA, 1984.

SIMMERDING, F.; HENSSEN, J. L. G. *Demarcation of Property Boundaries in Different Countries*. In: XVIII International Congress. Toronto, Canadá, 1986.



**ANEXO 1**

<b>TIPO</b>	<b>OBSERVAÇÃO</b>	<b>LEITURA</b>
Linear	E3 – A1	130,737m
Linear	A1 – A5	82,983m
Linear	A5 – A4	96,501m
Linear	A4 – M2	78,152m
Linear	M2 – A3	106,069m
Linear	A3 – A2	51,538m
Linear	A2 – E5	42,199m
Linear	E5 – E2	41,899m
Linear	E2 – E3	51,141m
Linear	E3 – E1	68,237m
Linear	E1 – E4	53,436m
Linear	E4 – E5	87,109m
Linear	E4 – E2	104,070m
Angular	A5 – A1 – E3	175° 13'25"
Angular	A4 – A5 – A1	50° 37'55"
Angular	M2 – A4 – A5	152° 10'00"
Angular	A3 – M2 – A4	139° 58'20"
Angular	A2 – A3 – M2	161° 17'35"
Angular	E5 – A2 – A3	166° 05'55"
Angular	E4 – E5 – A2	136° 17'10"
Angular	E4 – E5 – E2	101° 53'30"
Angular	E1 – E2 – E3	77° 28'00"
Angular	E1 – E2 – E5	285° 31'55"
Angular	E1 – E2 – E4	340° 28'15"
Angular	E2 – E3 – A1	187° 54'25"
Angular	E2 – E3 – E1	55° 31'21"
Angular	E3 – E1 – E2	47° 00'00"
Angular	E3 – E1 – E4	186° 19'20"
Angular	E2 – E4 – E5	23° 13'35"
Angular	E2 – E4 – E1	338° 54'05"

Tabela 22: Observações lineares e angulares