



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Artur Caldas Brandão

**O PRINCÍPIO DA VIZINHANÇA GEODÉSICA
NO LEVANTAMENTO CADASTRAL
DE PARCELAS TERRITORIAIS**

Tese de Doutorado

Florianópolis-SC
2003

Artur Caldas Brandão

**O PRINCÍPIO DA VIZINHANÇA GEODÉSICA
NO LEVANTAMENTO CADASTRAL
DE PARCELAS TERRITORIAIS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Produção da
Universidade Federal de Santa Catarina
como requisito parcial para obtenção do grau
de Doutor em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Wilhelm Philips

Florianópolis
2003

BRANDÃO, Artur Caldas. O princípio da vizinhança geodésica no levantamento cadastral de parcelas territoriais. Florianópolis, 2003. 128p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Jürgen Wilhelm Philips, Dr.-Ing

Defesa: 19/04/2003

Impresso em 2008

Artur Caldas Brandão

**O PRINCÍPIO DA VIZINHANÇA GEODÉSICA NO
LEVANTAMENTO CADASTRAL DE PARCELAS TERRITORIAIS**

Esta tese foi julgada e aprovada para a obtenção do grau de **Doutor em Engenharia de Produção** no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 23 de abril de 2003.



Prof. Edson Pacheco Paladini, Dr.
Coordenador do Programa

Banca Examinadora:



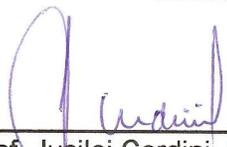
Prof.ª Andrea Flávia Tenório Carneiro, Dr.
Universidade Federal de Pernambuco



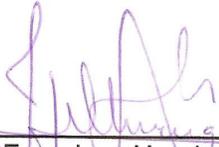
Prof. Jürgen Wilhelm Philips, Dr.-Ing.
Universidade Federal de Santa Catarina
Orientador



Prof. Armando Albertazzi Gonçalves Júnior, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Jucilei Cordini, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Francisco Henrique de Oliveira, Dr.
Universidade do Estado de Santa Catarina



Prof. Tarcísio Ferreira Silva, Dr.
Universidade Federal de Pernambuco

Às minhas avós:
Caçula (*in memoriam*)
e Lizete (*in memoriam*)

Agradecimentos

À Universidade Federal de Santa Catarina, pelo oferecimento do curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção;

À Universidade Federal da Bahia, que possibilitou meu afastamento para realização do curso; à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da UFBA e à CAPES pela concessão da bolsa PICDT; aos colegas professores do Departamento de Transportes da Escola Politécnica que supriram minhas atividades didáticas;

Ao professor Jürgen Philips, dedico um agradecimento especial não só pela orientação deste trabalho e pelo aprendizado adquirido, mas também pelo acolhimento, pela confiança depositada e grande amizade consolidada;

Ao Sr. Peter Hartmann, pela concessão do aplicativo *Strada Atlas* versão 3.10 com o módulo NETZ2D desenvolvido pelo *Geodaetisches Institut – Universitaet Karlsruhe* – Alemanha, que possibilitou o processamento dos dados desta pesquisa;

Ao Prof. Antonio Paulino / Laboratório de Geoprocessamento da UFSC, pela concessão da licença do aplicativo MicroStation 95 Academic;

Ao professor Roberto de Oliveira, pelo acolhimento da orientação junto ao CPGEF / UFSC nos dois primeiros anos do curso;

À amiga, Andréa Carneiro, pelos incansáveis incentivos, discussões, sugestões e dicas;

Ao amigo Ronaldo Rocha, pelo convívio, incentivo, discussões, elaborações;

Aos colegas de curso, mestrandos, doutorandos, e professores do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFSC, pelos momentos fundamentais de discussões acadêmicas e troca de vivências, ajudas e colaborações;

Às grandes amizades re-vividas e aos novos vínculos criados que possibilitaram prazerosos momentos em Florianópolis – Andréa / Daniel / Gustavo e Diogo, Ronaldo / Claudia e Letícia, Philips / Angelina e Gabriel, Carlos Pessoa, Sr. Luiz Frigo e família, Leonel e família, José Ernesto e família, dentre outros;

Aos meus pais e irmãos, pelo afeto, apoio e incentivos;

À Madalena, minha querida esposa, pelo carinho, compreensão, apoio, incentivo e total dedicação e companheirismo;

Às minhas queridas filhas, Mariana e Alice, pelos intensos momentos de afeto e carinho.

Resumo

Um sistema cadastral tem por finalidade a determinação de informações geométricas, ou seja, localizações e dimensões, de unidades territoriais que delimitam um domínio. Essas informações são usadas em diversas atividades com propósitos fiscais, legais e administrativos. Esta pesquisa visa o aperfeiçoamento do sistema cadastral brasileiro no que se refere à definição da unidade territorial básica e dos procedimentos usados para a sua caracterização geodésica. Propõe-se que unidade territorial básica do sistema cadastral brasileiro seja definida em termos de uma parcela territorial, caracterizada por ser uma porção contínua e limitada do território, onde existam condições homogêneas de domínio, considerando o contexto histórico, os aspectos legais e a realidade da ocupação do território. Propõe-se também que a caracterização geodésica da parcela territorial seja estabelecida a partir da determinação das coordenadas dos pontos que definem suas extremas (linhas de limites) através de um levantamento cadastral com base no Princípio da Vizinhança geodésica. Esse procedimento exige que o levantamento cadastral seja conduzido com repetição das observações, com medições de controle e realizando o ajustamento conjunto do levantamento considerando os pontos da rede de referência e os pontos de limites de parcelas. Isso possibilita a homogeneização do levantamento cadastral em termos de qualidade posicional, que é obtida quando as posições dos pontos que definem os limites de parcelas apresentam precisões posicionais com valores que garantem estatisticamente que a tolerância posicional especificada seja atingida. A tolerância posicional consiste no erro máximo aceitável para as posições dos pontos de limite de parcelas. Para satisfazer a legislação brasileira, demonstrou-se que a tolerância posicional deve ser de $\pm 0,10\text{m}$ no levantamento cadastral em áreas urbanas e de $\pm 1,77\text{m}$ em áreas rurais. Foi identificada também a necessidade de uma avaliação qualitativa do cálculo da área superficial das parcelas territoriais. Essa avaliação foi estabelecida a partir da propagação dos erros posicionais e da configuração geométrica da parcela. Os erros posicionais foram obtidos no processo de ajustamento do levantamento cadastral, dados pelas variâncias e covariâncias das coordenadas dos pontos de limites de parcelas. Verificou-se que o levantamento cadastral conduzido com os critérios estabelecidos nesta pesquisa atende as necessidades institucionais relacionadas à caracterização espacial do domínio territorial.

Palavras-Chave:

Levantamento cadastral, parcela territorial, princípio da vizinhança geodésica

Abstract

A cadastral system aims at identifying the geometrical information, or locations and dimensions of territorial units which delimit a territorial occupation. This information is used in various activities with tax purposes, legal and administrative. This research is aimed at improving the cadastral system Brazilian regarding the definition of the territorial unit and procedures used for its characterization geodetic. It is proposed that territorial unit of Brazilian cadastral system is defined in terms of a territorial parcel, characterized by a continuous and limited portion of the territory, where there are conditions of homogeneous occupation, considering the historical context, the legal aspects and the reality of occupation of the territory. It is also proposed that the geodetic characterization of the territorial parcel is established from the determination of coordinates of points that define their lines of limits through a cadastral survey based on the principle of Neighboring Accuracy. This procedure requires that the cadastral survey is conducted in a repetition of the remarks, with measurements of control and doing all the lifting adjustment considering the points of the geodetic network and points of limits of the territorial parcel. This allows the homogenization of the cadastral survey in terms of positional quality, which is obtained when the positions of points that define the limits of the territorial parcel have positional accuracies with values that ensure statistically that the specified tolerance is reached. The tolerance positional is the maximum error acceptable to the positions of points of limit on parcels. To meet the Brazilian legislation, showed that the tolerance should be of ± 0.10 m in the cadastral survey in urban areas and should be of ± 1.77 m in rural areas. It also identified the need for a qualitative assessment of calculating the surface area of territorial parcel. That assessment was drawn from the propagation of errors positional and geometric configuration of the territorial parcel. The positional errors were obtained in the process of adjustment of the cadastral survey, data for variances and covariâncias of the coordinates of points of the limits of the territorial parcel. It was found that the cadastral survey conducted with the criteria established in this study meet the institutional needs related to the characterization of the territorial occupation.

Key-words:

Cadastral surveying, land parcels, neighboring accuracy

Lista de figuras

Figura 1 - Aspectos físicos, jurídicos e fiscais relacionados à ocupação territorial	14
Figura 2 - Aspectos do sistema cadastral brasileiro avaliados nesta pesquisa	23
Figura 3 - influência da tolerância posicional na incerteza da área superficial	78
Figura 4 - Método de levantamento por alinhamento	84
Figura 5 - Método de levantamento ortogonal	85
Figura 6 - Método de levantamento polar	87
Figura 7 - Medições de controle no levantamento polar	88
Figura 8 - Procedimento de simulação de um levantamento	109
Figura 9 - Tela de abertura e identificação do aplicativo Strada Atlas	110
Figura 10 - Conteúdo de medições do aplicativo Strada Atlas	111
Figura 11 - Conteúdo de cálculo do módulo NETZ2D do aplicativo Strada Atlas	112
Figura 12 - Croquis de medições de controle do levantamento polar	114
Figura 13 - Representação gráfica dos elementos pontuais do ajustamento	115

Lista de tabelas

Tabela 1 – Exemplos de tolerância posicional do levantamento cadastral .	66
Tabela 2 – Observações de campo do levantamento polar	114
Tabela 3 – Elementos pontuais do ajustamento cadastral	116
Tabela 4 – Elipses de confiança relativas	116

Lista de siglas

ABNT:	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ART:	Anotação de Responsabilidade Técnica
CONFEA:	Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia
CNIR:	Cadastro Nacional de Imóveis Rurais
CTM:	Cadastro Técnico Municipal
GE:	<i>Géomètres-Expert Fonciers Européens</i>
GIS:	<i>Geographic Information Systems</i> / Sistemas de Informações Geográficas
GPS:	<i>Global Positioning System</i>
FIG:	<i>International Federation of Surveyors</i>
FMP:	Fração Mínima de Parcelamento
IBGE:	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCRA:	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
IRIB:	Instituto de Registro Imobiliário do Brasil
ITR:	Imposto Territorial Rural
LIS:	<i>Land Information System</i> / Sistema de Informações Territoriais
<i>m:</i>	erro médio quadrático
MDA:	Ministério do Desenvolvimento Agrário
MMQ:	Método dos Mínimos Quadrados
MVC:	Matriz Variância-Covariância
NBR:	Norma Brasileira da ABNT
SGB:	Sistema Geodésico Brasileiro
SNCR:	Sistema Nacional de Cadastro Rural
SRF:	Secretaria da Receita Federal
UFBA:	Universidade Federal da Bahia
UFPE:	Universidade Federal de Pernambuco
UFSC:	Universidade Federal de Santa Catarina
UTM:	Universal Transversa de Mercator

Sumário

1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	13
1.1	Abordagem da pesquisa.....	13
1.2	Objetivos e hipótese.....	20
1.3	Procedimentos metodológicos	21
1.3.1	Procedimentos quanto à caracterização da unidade territorial.....	22
1.3.2	Procedimentos quanto à caracterização geodésica do cadastro territorial	25
2	CADASTRO DE PARCELAS TERRITORIAIS	28
2.1	Conceito de cadastro.....	28
2.2	Cadastro Napoleônico	29
2.3	Parcela territorial	33
2.3.1	Limites de parcelas territoriais.....	33
2.3.2	Características da parcela territorial.....	35
2.3.3	Vantagens de um sistema cadastral parcelar.....	35
2.4	O cadastro no Brasil.....	36
2.4.1	O cadastro nas áreas rurais e a Lei 10.267 / 2001.....	38
2.4.2	O cadastro nas áreas urbanas	41
2.5	Conceito de unidade territorial no Brasil.....	42
2.6	Proposta de parcela territorial para o sistema cadastral brasileiro	45
2.6.1	Necessidades institucionais	46
2.6.2	Características da proposta de parcela territorial para o cadastro no Brasil	47
3	PRINCÍPIO DA VIZINHANÇA NAS MEDIÇÕES GEODÉSICAS	51
3.1	O Princípio da Vizinhança	51
3.2	Levantamento Cadastral	53
3.2.1	Definições de levantamento pela NBR 13.133 – ABNT 1994.....	53
3.2.2	Atividades do levantamento cadastral.....	55
3.3	Cadastro de coordenadas	56
3.3.1	Características geodésicas do cadastro de coordenadas	57
3.3.2	Vantagens do cadastro de coordenadas.....	58
3.3.3	O cadastro de coordenadas no sistema cadastral brasileiro	59
3.4	Qualidade posicional no levantamento cadastral	61
3.4.1	Conceitos estatísticos de qualidade posicional	62
3.4.2	Generalidades sobre precisão e exatidão posicionais nas medições cadastrais	63
3.4.3	Generalidades sobre tolerância posicional nas medições cadastrais....	64
3.4.4	Procedimentos usados no Brasil para avaliação da qualidade métrica do levantamento cadastral.....	67
3.5	Princípio da Vizinhança no levantamento cadastral	69
3.5.1	Homogeneidade do levantamento cadastral	70
3.5.2	Condições para aplicação do Princípio da Vizinhança no levantamento cadastral	71
3.5.3	Vantagens do Princípio da Vizinhança no levantamento cadastral	72

4	CRITÉRIOS TÉCNICOS PARA AS MEDIÇÕES CADASTRAIS NO BRASIL	74
4.1	Padronização de aspectos geodésicos do levantamento cadastral	74
4.2	Tolerância posicional do levantamento cadastral	76
4.2.1	Tolerância posicional das medições cadastrais em áreas rurais	79
4.2.2	Tolerância posicional das medições cadastrais em áreas urbanas	81
4.3	Métodos de levantamentos cadastrais	82
4.3.1	Medições de controle no levantamento cadastral	83
4.3.2	Levantamento por alinhamento	83
4.3.3	Levantamento ortogonal	85
4.3.4	Levantamento polar	86
4.3.5	Considerações sobre o levantamento cadastral através de sistemas satelitais	89
4.4	Modelo de ajustamento do levantamento cadastral – método paramétrico	91
4.4.1	Modelo funcional do ajustamento paramétrico por variação de coordenadas	92
4.4.2	Equações de observação	96
4.4.3	Modelo estocástico do ajustamento paramétrico por variação de coordenadas	98
4.4.4	Indicadores da precisão posicional	99
4.4.5	Qualidade métrica das linhas de limites de parcelas	102
4.5	Área superficial da parcela territorial	104
4.5.1	Cálculo da área superficial	104
4.5.2	Qualidade métrica da área superficial	104
4.5.3	Área da parcela e a Lei 10.267 / 2001	106
5	AJUSTAMENTO DA MEDIÇÃO CADASTRAL – EXEMPLO PRÁTICO	107
5.1	Considerações sobre otimização de levantamentos	107
5.2	Ferramenta computacional	109
5.3	Exemplo de levantamento cadastral com medições de controle	112
5.3.1	Medições de campo do levantamento cadastral	113
5.3.2	Processamento do levantamento cadastral	115
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES DA PESQUISA	117
6.1	Conclusões	117
6.2	Recomendações	118
	REFERÊNCIAS	122

1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O propósito desta pesquisa consiste em estabelecer critérios para definir a unidade territorial básica para o sistema cadastral brasileiro e os procedimentos para caracterizar geodesicamente essa unidade territorial. Neste capítulo apresenta-se o tema da pesquisa e define-se o problema investigado enfocando sua importância e atualidade. Descrevem-se também os objetivos da tese, a hipótese avaliada e os procedimentos metodológicos adotados.

1.1 Abordagem da pesquisa

As atividades que utilizam informações sobre a ocupação do território necessitam que tais informações correspondam fielmente ao modelo da realidade. Isso é fundamental para atender às necessidades da sociedade de naturezas legais, fiscais e administrativas que envolvem o domínio do território. A necessidade legal ou jurídica consiste na garantia da propriedade. A necessidade fiscal consiste na cobrança de impostos sobre o uso do solo. A necessidade administrativa refere-se às demais atividades relacionadas ao planejamento e gerenciamento territorial - empreendimentos e projetos de obras, avaliação de imóveis, contratos de compra e venda e de indenização, determinação de indicadores sócio-econômicos, ações e políticas territoriais em geral.

A ocupação de um território pode ser analisado sob aspectos econômicos, políticos, legais, geográficos, sociais, etc. Neste trabalho, a ocupação territorial foi tratado apenas sob o aspecto físico, considerando também a sua relação com o aspecto jurídico. A natureza física da ocupação territorial consiste na delimitação geométrica dos direitos sobre o domínio, refere-se à sua caracterização espacial e corresponde à sua localização e suas dimensões, ou seja, **onde** está localizado o domínio e **quanto** de território foi ocupado. A natureza jurídica refere-se a **quem** ocupa e aos direitos e obrigações decorrentes de **como** essa ocupação ocorre. A natureza fiscal da ocupação não foi analisada nessa pesquisa.

Os aspectos físicos da ocupação de um território são tratados pelo **sistema de cadastro** territorial. Os aspectos jurídicos da ocupação de um território são tratados pelo **sistema de registro** territorial. Os aspectos fiscais da ocupação de um território são tratados pelo **sistema tributário** sobre o uso da terra. As informações procedentes dos sistemas registral e cadastral são imprescindíveis para as atividades relacionadas ao planejamento e gerenciamento territorial de uma maneira geral. A Figura 1 mostra de forma esquemática essa necessidade.

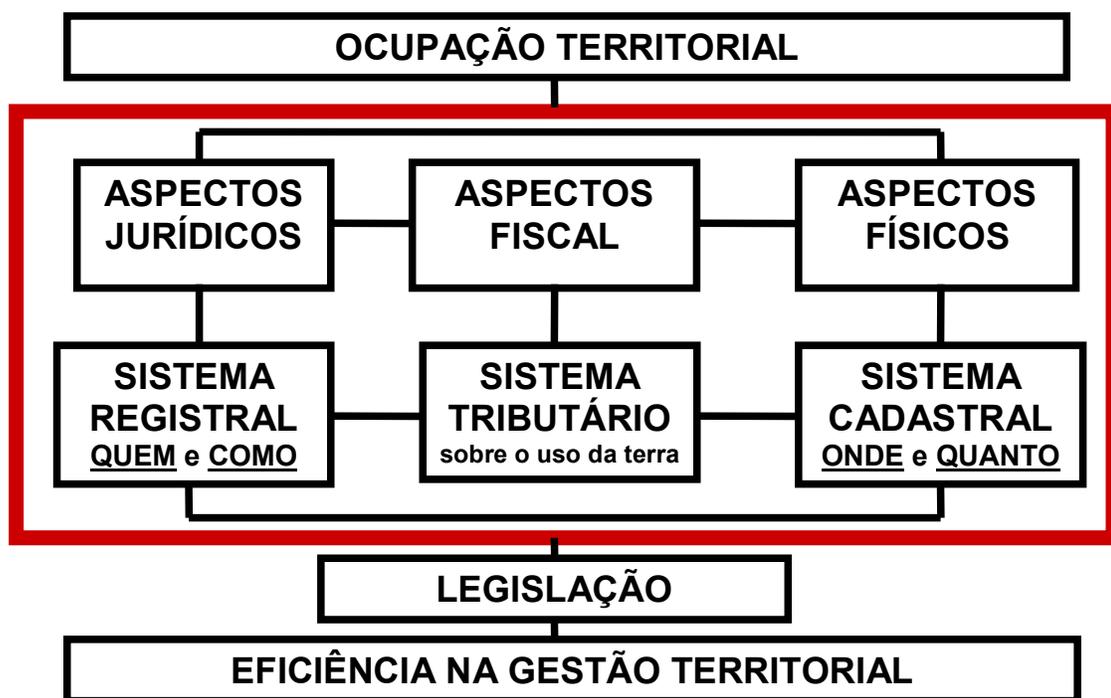


Figura 1 – Aspectos físicos, jurídicos e fiscais relacionados à ocupação territorial

É desejável, portanto que ocorra uma interligação entre os sistemas registral e cadastral. Essa interligação é apontada como uma das principais necessidades para uma gestão territorial eficiente, sendo objeto de intensas pesquisas (Carneiro, 2000), uma vez que não existe um modelo único que possa ser aplicado a todas as realidades. A integração das informações cadastrais e registrais ocorre de várias maneiras, no entanto poucos são os países que resolveram essa questão, apesar de muitos deles terem desenvolvido modelos de integração como forma de aperfeiçoar seus sistemas de organização territorial.

Nos países do continente australiano que adotam o sistema Torrens (sistema da “*Acta Torrens*”), o cadastro e o registro estão reunidos em uma só organização e funcionam em completa correlação (Carneiro, 2000). O Registro Torrens confere um direito incontestável a quem se vale do registro e é portador de um certificado, e para tanto o registro é vinculado a um seguro. Um sistema desse tipo só pode existir em países cuja organização territorial seja formada em bases absolutamente novas, pois não é possível, na prática, desconsiderar um sistema imobiliário já existente, formado em outras bases. No aspecto cadastral, o sistema Torrens prevê medições confiáveis, no entanto, geralmente não há vinculações com a vizinhança ou amarrações a um sistema de referência nacional.

Em alguns países, como Alemanha e Suíça, dentre outros, os sistemas de registro e de cadastro são separados, mas ocorre uma interligação plena entre eles (Carneiro, 2000). Nesse sistema de coordenação perfeita, a inscrição e descrição de cada parcela territorial no Registro são realizadas com base em um levantamento oficial da realidade física do domínio territorial. Esse levantamento é conduzido sob responsabilidade da organização cadastral. Esse modelo é considerado um paradigma para os países ocidentais, no entanto pressupõe a existência de um Cadastro completo e atualizado.

Outros países como França, Portugal e Itália, adotam um sistema em vias de interligação. Neles a integração entre as informações cadastrais e registrais ocorre nos municípios / distritos que já possuem um Cadastro atualizado. Acompanhando essa tendência, outros países têm trabalhado no sentido de promover a interligação entre os sistemas de cadastro e de registro, a exemplo de Argentina, Espanha, Costa Rica, Porto Rico, El Salvador, Panamá, etc (Carneiro, 2000).

No Brasil e na maioria dos países do mundo, de uma maneira geral não há uma interligação entre os sistemas de cadastro e de registro, que se constituem em geral em instituições distintas. Normalmente o cadastro é realizado para fins fiscais, e o registro legal é feito sem informações cadastrais. No Brasil apesar da

existência de iniciativas isoladas de interligação entre cadastro e registro, essa situação deve melhorar consideravelmente, ao menos nas áreas rurais do país, a partir da aplicação da Lei 10.267 / 01 e sua regulamentação, o Decreto 4.449 / 02, que exige essa interligação através de um intercâmbio de informações entre os dois sistemas. Portanto após mais de 500 anos de ocupação do território pela civilização européia, é que a legislação brasileira reconheceu a necessidade de um sistema de cadastro com base em medições geodésicas e de sua interligação com o registro, instituição responsável pelas informações legais.

Antes disso, essa questão foi muito pouco discutida tanto entre os profissionais da área jurídica – Jacomino (2000), Carvalho (1997), Almeida (2000), Pedrassi (1996), Nalini (2000 - quanto os da área técnica cadastral – Silva (1979), Philips (1996b), Carneiro et al (2000), Erba & Loch (1996). Afrânio de Carvalho, professor de Direito e estudioso do registro imobiliário, foi o pioneiro no Brasil nessa discussão, e em dois momentos, em 1947 e em 1969, tentou estabelecer em Lei o cadastro imobiliário no país e sua interligação com o registro de imóveis, não logrando sucesso em ambas as tentativas. Mais recentemente, sobre a questão da interligação do cadastro com o registro, destacam-se as discussões promovidas pelo IRIB – Instituto de Registro Imobiliário do Brasil (www.irib.org.br) e algumas pesquisas acadêmicas, dentre elas a de Carneiro (2000), que além de apontar a necessidade de interligação entre o registro e o cadastro no Brasil, fez um diagnóstico do sistema cadastral brasileiro.

A principal finalidade de um sistema cadastral consiste na caracterização espacial de unidades territoriais constituídas de porções contínuas do território delimitado por uma ocupação. Isso é atingido com eficiência quando o sistema determina de forma inequívoca a localização e dimensões das unidades territoriais. Esta pesquisa visa definir ferramentas para contribuir o aperfeiçoamento do sistema cadastral brasileiro, notadamente no que se refere à definição da unidade territorial básica para representar a ocupação e aos procedimentos usados para caracterizar espacialmente essa unidade territorial.

No item 1.3 deste Capítulo, são apresentados aspectos gerais dos procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa, referentes às duas questões principais avaliadas nesta pesquisa. Primeiro que, a unidade territorial básica do sistema cadastral brasileiro seja definida em termos de uma parcela territorial caracterizada por ser uma porção contínua e limitada do território onde existam condições homogêneas de domínio. Depois, que a caracterização espacial da parcela territorial seja estabelecida a partir da determinação das coordenadas dos pontos que definem suas extremas (linhas de limites), obtidas através de um levantamento cadastral com base no Princípio da Vizinhança geodésica. Isso significa que deve haver uma otimização da distribuição dos erros com vistas à homogeneização da qualidade posicional do levantamento cadastral, ou seja, que as posições dos pontos de limites de parcelas sejam determinadas com um valor de precisão posicional que seja estatisticamente suficiente para atingir a tolerância posicional pré-definida.

Outros aspectos devem ser considerados na implantação e desenvolvimento de um sistema cadastral eficiente, tais como o gerenciamento do sistema, a estrutura administrativa, a legislação, os recursos humanos. Esses temas, apesar de sua importância, não foram abordados neste trabalho.

Nesta pesquisa o termo **cadastro** designa unicamente as informações relacionadas ao levantamento dos limites de parcelas territoriais, conforme definição da FIG - *International Federation of Surveyors*, (FIG, 1991; FIG, 1995). No Brasil não se considera esse conceito da FIG, e o termo “cadastro”, de forma isolada, é usado normalmente para caracterizar os registros de clientes ou de usuários realizados por organizações contendo informações diversas referentes a pessoas físicas ou jurídicas. Para se referir ao conceito de cadastro da FIG, no Brasil usam-se principalmente os termos “cadastro técnico” e “cadastro imobiliário” (ver item 2.4).

Esta pesquisa tem o propósito de contribuir para o aperfeiçoamento do sistema cadastral brasileiro no que se refere à sua capacidade de caracterizar espacialmente as unidades territoriais. Isso é necessário nas atividades de

planejamento e gerenciamento territorial de uma maneira geral. A legislação brasileira dispõe sobre muitas dessas atividades na Constituição Federal, no Código Civil – Lei nº 10.406 de 10/01/2002 em vigor a partir de 10/01/2003, na Lei de Registros Públicos – Lei 6.015 / 1973, no Estatuto da Cidade - Lei 10.257 de 10/07/2001, no Estatuto da Terra – Lei 4.504 de 30/11/1964, no Código Tributário - Lei 5.172 de 25/10/1966, no Código Florestal – Lei 4771 / 1965, no Código de Águas – Decreto 24643 de 10/07/1934, na Lei 6.766 / 1979 que dispõe sobre o parcelamento do solo, no Decreto-Lei 9760 / 1946 que dispõe sobre bens imóveis da União, dentre outros regulamentos legais.

De forma específica, a aplicação desta pesquisa pode atender às necessidades de caracterização espacial de imóveis da legislação brasileira. Nesse sentido, duas Leis são diretamente atingidas, a Lei 6015 / 1973 que estabelece o princípio de especialidade do Registro de Imóveis no Brasil e a Lei 10.267 / 2001 que exige a identificação geodésica dos imóveis rurais para fins de registro.

Convém salientar também que a Lei 10.257 / 2001 - Estatuto da Cidade – regulamenta dentre outros aspectos, a implantação de Planos Diretores nos municípios brasileiros com mais de 20.000 habitantes, e a regularização fundiária no meio urbano. A implementação dessas duas tarefas exige necessariamente a existência de um sistema cadastral eficiente.

O Registro de Imóveis consiste numa atividade jurídica cuja finalidade é dar publicidade, autenticidade, segurança e eficácia aos atos relativos ao domínio e demais direitos reais sobre bens imóveis, conforme o Art. 1º da Lei 6.015 / 73 (BRASIL, 1973). O Registro de Imóveis, portanto, é necessário para dar segurança jurídica ao proprietário do imóvel e ao mercado imobiliário, sendo dotado de efeito “*erga omnes*”, ou seja, para toda a sociedade.

O princípio de especialidade é uma das regras do sistema registral, que se refere à capacidade do sistema em identificar e individualizar as unidades territoriais de forma inequívoca e completa. Esse princípio é atendido quando, na caracterização espacial das unidades territoriais, envolvendo sua localização e

dimensões, não haja lacunas e nem superposições quando todo o território é considerado.

A especialidade do Registro de Imóveis no Brasil é reconhecidamente falha (Jacomino, 2000). A principal causa dessa debilidade deve-se ao registro legal dos imóveis ser realizado sem exigência de um levantamento cadastral. A sistemática do registro de imóveis no Brasil sempre foi caracterizada pela descrição literal, o que normalmente ocasiona uma identificação imprecisa do imóvel.

Essa situação pode melhorar, ao menos quanto ao registro de imóveis rurais, com a recente aprovação da Lei 10.267 / 2001 (BRASIL, 2001). Isso porque essa Lei, que criou o Cadastro Nacional de Imóveis Rurais, estabeleceu um intercâmbio de informações entre esse cadastro e os cartórios de Registro de Imóveis, e a exigência da identificação dos imóveis rurais através da determinação das coordenadas dos pontos que definem seus limites, amarradas ao Sistema Geodésico Brasileiro e com uma precisão posicional pré-definida.

Verifica-se, que os procedimentos desenvolvidos nesta pesquisa contribuem para responder às exigências da legislação brasileira quanto à caracterização espacial de unidades territoriais. A Lei 10.267 / 2001, por exemplo, estabelece procedimentos que exigem a utilização de critérios técnicos específicos para a realização dos levantamentos para fins de identificação dos imóveis rurais. Por outro lado, a pesquisa mostra-se atual, uma vez que a proposta desenvolvida é compatível às recomendações da FIG - *International Federation of Surveyors* para implantação e aperfeiçoamento de sistemas cadastrais. Essas orientações foram preconizadas principalmente nos documentos “Declaração da FIG sobre o Cadastro” (FIG, 1995) e “Cadastro 2014” (Kaufmann & Steudler, 1998).

Esses aspectos demonstram a contribuição científica da pesquisa, concorrendo assim com o desenvolvimento tecnológico da engenharia em geral e da geomensura cadastral de forma específica. A aplicação dos conhecimentos gerados por esta pesquisa proporcionará um elevado ganho de qualidade da

informação gerada pelo sistema cadastral brasileiro, tornando-o compatível com os mais modernos do mundo. Esta pesquisa passa assim a integrar ao conjunto de trabalhos, dissertações e teses, já elaborados e em desenvolvimento na Universidade Federal de Santa Catarina, objetivando aperfeiçoar o sistema cadastral brasileiro.

1.2 Objetivos e hipótese

O **objetivo geral** da tese consiste em definir os procedimentos necessários para a caracterização espacial de parcelas territoriais no Brasil através de um levantamento cadastral com base no Princípio da Vizinhança das medições geodésicas, com determinação das coordenadas dos pontos que definem os limites (estremas) das parcelas considerando uma tolerância posicional especificada.

Os **objetivos específicos** são:

- a) Definir, caracterizar e propor a parcela territorial como unidade básica do sistema cadastral brasileiro, considerando o contexto histórico, os aspectos legais e a realidade da ocupação do território;
- b) Caracterizar o Princípio da Vizinhança geodésica na avaliação da qualidade métrica do levantamento cadastral;
- c) Definir critérios e determinar valores para a tolerância posicional do levantamento cadastral;
- d) Definir critérios técnicos para uma padronização mínima das medições cadastrais com base no Princípio da Vizinhança considerando a precisão posicional, o modelo de ajustamento, os métodos de levantamentos e a avaliação qualitativa do cálculo da área;
- e) Aplicar os procedimentos propostos de levantamento cadastral em uma área de estudo.

Nessas condições, formula-se a **hipótese** básica investigada: o levantamento cadastral das coordenadas dos pontos que definem os limites (estremas) de

parcelas territoriais quando realizado com base no Princípio da Vizinhança das medições geodésicas garante o princípio de especialidade registral e as demais necessidades de caracterização espacial da ocupação territorial.

1.3 Procedimentos metodológicos

Pesquisar consiste numa atividade que visa a aproximação sucessiva da realidade. Portanto uma pesquisa nunca se esgota, sendo intrinsecamente inacabada e permanente. Uma pesquisa é realizada quando se tem um problema e não se têm informações prontas para solucioná-lo. Com relação aos procedimentos metodológicos usados no desenvolvimento desta tese, esta pesquisa pode ser classificada segundo sua natureza, seus objetivos, a abordagem do problema e os procedimentos técnicos usados, de acordo com Silva & Menezes (2000).

Quanto à sua natureza trata-se de uma pesquisa aplicada, pois objetivou gerar conhecimentos para uma aplicação prática dirigida a solução de um problema específico.

Quanto aos seus objetivos trata-se de uma pesquisa exploratória, pois proporcionou uma maior familiaridade com o problema tornando-o explícito, permitindo a construção da hipótese avaliada. Também é uma pesquisa descritiva, pois descreveu as características do problema e estabeleceu as relações entre as variáveis envolvidas. É ainda uma pesquisa explicativa, pois identificou os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência do problema investigado aprofundando o conhecimento da realidade.

Quanto à abordagem do problema trata-se de uma pesquisa qualitativa e quantitativa. Nos procedimentos para caracterizar a unidade territorial do sistema cadastral brasileiro (item 1.3.1), a pesquisa foi qualitativa, pois analisou os dados de forma indutiva considerando uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito. Por outro lado, nos procedimentos para a caracterização geodésica do

cadastro (item 1.3.2), a pesquisa foi quantitativa, sendo usados recursos matemáticos e estatísticos.

Quanto aos procedimentos técnicos trata-se de uma pesquisa bibliográfica, pois foi realizada uma análise crítica de material já publicado. Também se trata de uma pesquisa experimental, pois determinou um objeto de estudo, relacionando as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo e definindo as formas de controle e de observação. É ainda um estudo de caso, pois envolveu o estudo e análises de um exemplo permitindo seu amplo e detalhado conhecimento.

A Figura 2 mostra de forma esquemática o problema investigado e os procedimentos desenvolvidos para atingir os objetivos propostos nesta pesquisa. Nos itens seguintes deste capítulo são apresentados aspectos gerais dos procedimentos desenvolvidos com vistas à caracterização da unidade territorial (item 1.3.1) e à caracterização geodésica (item 1.3.2) do cadastro no Brasil.

1.3.1 Procedimentos quanto à caracterização da unidade territorial

A pesquisa propõe que a unidade territorial básica do sistema cadastral brasileiro seja definida em termos de uma parcela territorial. A **parcela** consiste numa porção contínua e limitada do território na qual existem condições homogêneas de domínio. O conceito de parcela territorial não é novo, sendo adotado desde o final do século XVIII, pelo Cadastro Napoleônico (ver item 2.2), o precursor dos modernos sistemas cadastrais (Philips, 1996a). Já naquela época, inicialmente na França e posteriormente em outros países da Europa central, foram estabelecidos sistemas cadastrais com base na divisão do território em parcelas, na demarcação dessas parcelas, na medição dos seus limites, e na adoção de um código identificador único para cada unidade parcelar. Atualmente, os principais sistemas cadastrais existentes no mundo adotam a parcela territorial como unidade básica.



Figura 2 – Aspectos do sistema cadastral brasileiro avaliados nesta pesquisa

O sistema cadastral brasileiro não usa o conceito de parcela territorial. Na legislação brasileira que dispõe sobre atividades relacionadas ao gerenciamento territorial, encontram-se vários termos e definições para caracterizar a unidade territorial, conforme discutido no ítem 2.5. Alguns desses termos são bem conhecidos como por exemplo: imóvel, lote, gleba, propriedade, estabelecimento, prédio. Outros são de uso mais restrito a exemplo de “data” que é comum no noroeste oeste do Estado do Paraná.

No entanto, muitas dessas definições são conflitantes, a exemplo do termo “imóvel” que é o mais usado no Brasil. O Registro de Imóveis não faz distinção entre imóveis rurais ou urbanos, no entanto a legislação tributária e as leis agrárias e de uso do solo distinguem o imóvel urbano do rural, e utilizam diferentes critérios para classificar os imóveis, uns por destinação ou tipo de exploração, outros por localização. Assim, um imóvel que é usado em uma atividade agropecuária, mas que esteja localizado na zona urbana de algum município brasileiro, é considerado um imóvel rural em alguns casos, e um imóvel urbano em outros.

Nesta pesquisa discute-se, numa visão internacional, a parcela territorial em seus aspectos históricos, conceituais e operacionais (ver itens 2.1, 2.2, 2.3). De forma específica e a partir de análises da realidade, avaliou-se também a possibilidade de se adotar o conceito de parcela territorial no sistema cadastral brasileiro (itens 2.4 a 2.6).

As principais características da proposta de parcela territorial para o sistema cadastral brasileiro foram estabelecidas considerando a atual legislação e os seguintes aspectos: continuidade espacial, unicidade dominial, mesma situação jurídica, mesma situação administrativa. A principal vantagem na adoção de um conceito de parcela territorial é que possibilita o compartilhamento de informações entre as várias organizações que atuam em atividades relacionadas ao gerenciamento territorial.

1.3.2 Procedimentos quanto à caracterização geodésica do cadastro territorial

A pesquisa propõe que a caracterização espacial da parcela territorial seja estabelecida a partir da determinação das coordenadas dos pontos que definem suas extremas (linhas de limites), obtidas através de um levantamento cadastral com base no Princípio da Vizinhança das medições geodésicas, considerando uma tolerância posicional especificada.

O **Princípio da Vizinhança** é uma regra da geodésia que foi definida na Norma Brasileira da Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 13.133 (ABNT, 1994) como sendo aquela em *“que cada ponto novo determinado deve ser amarrado ou relacionado a todos os pontos já determinados, para que haja uma otimização da distribuição dos erros”*. Geralmente essa regra não é utilizada nas medições de pontos de detalhes, mas apenas nos pontos da rede de referência. Neste trabalho, pontos de detalhes correspondem a pontos objetos de levantamento e/ou locações. A aplicação do Princípio da Vizinhança nas medições de pontos de detalhes é uma garantia de qualidade desses levantamentos (ver itens 3.1 e 3.5).

No levantamento cadastral, os pontos de detalhes são somente aqueles que definem os limites de parcelas territoriais. Ou seja, o **levantamento cadastral** consiste nos procedimentos usados para caracterizar geodesicamente os pontos que definem unicamente os **limites de parcelas territoriais** (ver item 3.2). No entanto, no Brasil esse entendimento não ocorre, e o termo “levantamento cadastral” normalmente é confundido com “levantamento de detalhes” ou “levantamento topográfico” e serve também para caracterizar os levantamentos destinados à representação de feições naturais ou artificiais da superfície terrestre (ABNT, 1994).

Os aspectos abordados neste trabalho com relação à aplicação do Princípio da Vizinhança no levantamento cadastral no Brasil foram:

- a) a definição do cadastro de coordenadas para caracterizar a posição geodésica dos pontos que definem os limites de parcelas territoriais (ver item 3.3);
- b) o estabelecimento de critérios e a definição de valores para a tolerância posicional que se refere ao erro máximo admissível na determinação das posições dos pontos que definem os limites das parcelas territoriais (ver itens 3.4 e 4.2);
- c) a discussão dos métodos terrestres de levantamento cadastral (ver item 4.3);
- d) a aplicação do método dos mínimos quadrados no ajustamento das medições cadastrais (ver item 4.4);
- e) a avaliação da qualidade métrica do cálculo da área superficial da parcela territorial (ver item 4.5).

O Princípio da Vizinhança no levantamento cadastral é aplicado quando todas as extremas (linhas de limites) das parcelas territoriais são medidas de forma a ser possível a determinação da precisão posicional dos pontos que definem cada extrema. Isso implica que as medições devem ser conduzidas com observações de controle e que deve ser realizado um ajustamento conjunto entre os pontos da rede de referência e os pontos de detalhes, nesse caso, os pontos que definem os limites de parcelas territoriais.

O Princípio da Vizinhança aplicado no levantamento cadastral garante a consistência e a homogeneidade desse levantamento. A **consistência** do levantamento cadastral ocorre quando pontos comuns a duas ou mais parcelas apresentam o mesmo valor de posição. A **homogeneidade** do levantamento cadastral ocorre quando as posições dos pontos de limites de parcelas são determinadas com um valor de precisão posicional dentro de um limite especificado estatisticamente de modo a garantir que a tolerância posicional pré-definida seja atingida.

Nesta pesquisa, propõe-se a adoção de valores de tolerância posicional para o levantamento cadastral no Brasil, a partir de um critério baseado em exigências da legislação brasileira. Essa proposta foi discutida e apresentada no item 4.2, e tem por base o Código Civil Brasileiro (BRASIL, 1916; BRASIL, 2002) que

estabelece um erro máximo de 5% na determinação da extensão de um imóvel nos contratos de compra e venda, e a legislação que estabelece as dimensões mínimas para o parcelamento do solo em imóveis rurais (BRASIL, 1964; BRASIL, 1972; INCRA, 1997) e em imóveis urbanos (BRASIL, 1979).

2 CADASTRO DE PARCELAS TERRITORIAIS

As finalidades deste Capítulo são: discutir o conceito de cadastro numa visão internacional (item 2.1), apresentar alguns aspectos do Cadastro Napoleônico por ser o precursor dos sistemas cadastrais modernos que introduziu o conceito de parcela territorial (item 2.2), discutir e definir o termo parcela territorial explicando o seu significado (item 2.3), discutir características do cadastro no Brasil (item 2.4), discutir o conceito de unidade territorial usado no Brasil (item 2.5), e discutir, caracterizar e propor uma definição de parcela territorial para ser adotado pelo sistema cadastral brasileiro (item 2.6).

2.1 Conceito de cadastro

Cadastro é um inventário público de dados metodicamente organizados concernentes a parcelas territoriais, dentro de uma determinada região administrativa (país, estado, província, município, distrito, comarca), baseado no levantamento dos seus limites. Esse conceito representa um consenso em nível internacional do significado do termo cadastro, sendo adotado por diversos autores (Williamson, 1983; Dale, 1990; Blachut, 1979; Mclaughlin, 1997). A definição de cadastro da FIG - *International Federation of Surveyors* (FIG, 1991; FIG, 1995) também tem esse entendimento:

Um **Cadastro** consiste num sistema de informação territorial atualizado, baseado em parcelas, contendo um registro de interesses relacionados ao território (por exemplo, direitos, restrições e responsabilidades). Normalmente inclui uma descrição geométrica das parcelas em conjunto com outros registros que descrevem a natureza dos interesses, a propriedade ou controle desses interesses, e freqüentemente o valor da parcela e suas benfeitorias. Pode ser estabelecido para propósitos fiscais (por exemplo, avaliação e taxação equitativa), para propósitos legais (transferência), para auxiliar na administração do uso da terra (por exemplo, no planejamento e outros propósitos administrativos), e permite o desenvolvimento sustentável e a proteção ambiental.

A FIG é uma organização internacional que se constitui numa federação de associações nacionais e instituições acadêmicas envolvidas em atividades relacionadas às ciências geodésicas (www.fig.net). As atividades da FIG são desenvolvidas em 9 comissões, dentre elas a Comissão 7 – Cadastro e Gerenciamento Territorial. Nessa Comissão são discutidos temas relacionados à administração territorial, reforma cadastral, cadastro multifinalitário, sistemas de informação territorial baseados em registros cadastrais, titulação de terras, posse de terra, lei de terra e inscrição de terra, consolidação de terras urbanas e rurais, limites nacionais e internacionais, administração de recursos territoriais e marinhos. O documento “Declaração da FIG sobre o Cadastro” (FIG, 1995), apresenta de forma genérica os principais conceitos e princípios fundamentais de um sistema cadastral, e serve de orientação para a criação, manutenção e aperfeiçoamento desses sistemas.

Nesta pesquisa adotou-se para o termo cadastro o mesmo significado do conceito da FIG. No entanto, no Brasil não se considera esse entendimento e o termo “cadastro”, de forma isolada, tem outra conotação, sendo usado para caracterizar os registros de clientes ou de usuários realizados por organizações contendo informações diversas referentes a pessoas físicas ou jurídicas. Para se referir ao conceito de cadastro segundo o entendimento da FIG, no Brasil usam-se principalmente os termos “cadastro técnico” e “cadastro imobiliário”, conforme discutido no item 2.4.

2.2 Cadastro Napoleônico

O cadastro por si mesmo pode ser considerado como o real início do Império, pois ele significou uma segura garantia da propriedade territorial, provendo para todos os cidadãos a certeza da independência.

Napoleão Bonaparte, general e estadista francês, depois Napoleão I, imperador da França
★ Ajaccio, Córsega, 1769 - † ilha de Santa Helena, 1821

Os modernos sistemas cadastrais existentes na atualidade foram influenciados pelo Cadastro Napoleônico criado pela Revolução Francesa no final do século

XVIII. O termo parcela como sendo a unidade territorial básica do cadastro foi adotado desde esta época.

A Revolução Francesa introduziu uma série de reformas, que podem ser sintetizadas pelo Código Napoleônico (1804 – 1810), que influenciou os Códigos Civis de muitos países do mundo, inclusive o Brasil. O Código Napoleônico consolidou as conquistas e os ideais da Revolução Francesa, reorganizando as estruturas da administração pública e alterando os direitos civis dos cidadãos. Dentre outras prerrogativas foi estabelecida a igualdade dos cidadãos perante a Lei e o direito de propriedade.

Uma das principais medidas adotadas pela Revolução Francesa foi uma redistribuição de terras após o parcelamento de grandes propriedades feudais. Para tanto foi necessário adotar um sistema de cobrança justa de impostos tendo por base informações detalhadas das parcelas individuais de terras e seus respectivos proprietários. Identificou-se aí a necessidade do estabelecimento de um sistema cadastral.

Em 1793/94 a Assembléia Constituinte da Revolução Francesa decretou a organização do Cadastro Geral da Nação e a avaliação de todos os bens de raiz. Em 1798 foi publicada uma Lei que regulamentou o imposto predial. Com isso, algumas “comunas” convencidas da necessidade, realizaram individualmente as medições de todas as parcelas dos respectivos territórios. Essa primeira iniciativa teve grande sucesso na comuna de Hornoy, próximo a Amiens.

Contudo, na França, o Cadastro Napoleônico teve início de forma mais sistemática em 15 de setembro de 1807 quando foram publicadas as Instruções Relativas ao Cadastro, na verdade uma Lei contendo as bases para a execução do Cadastro parcelar geral. Foi criada uma comissão para desenvolver um projeto de levantamento sistemático, classificação e avaliação de mais de 100 (cem) milhões de parcelas. O projeto foi aprovado por um Regulamento de 27 de janeiro de 1808. Em 1811 foi publicado um compêndio relativo ao Cadastro francês

“Recueil Méthodique des Lois, Décrets, Réglements, Instructions et Décisions sur le Cadastre de France” (Mondon appud Galdino, 2002).

O Cadastro Napoleônico iniciou de forma regular com o levantamento das parcelas em cerca de 9000 comunas entre 1808 e 1814. Em seguida o ritmo dos trabalhos diminuiu sendo retomado por volta de 1821 até o término em torno de 1850. Os trabalhos continuaram na Córsega até 1889, e nos territórios anexados à França, em Comté de Nice até 1877, em Savoie de 1926 a 1945.

O Cadastro Napoleônico foi concebido inicialmente para fins fiscais. Percebeu-se, no entanto, que poderia ter outras finalidades, como por exemplo, para fins legais, na garantia da propriedade. No entanto, o projeto que logrou sucesso como Cadastro fiscal não teve o mesmo resultado como um Cadastro legal. Williamson (1983) avaliou que esse insucesso deveu-se ao fato do Cadastro legal requerer o levantamento das parcelas com maior precisão do que no Cadastro fiscal.

O próprio Napoleão I identificou como necessária a ligação do cadastro com o registro legal de terras, afirmando segundo Larsson (1991):

Um bom cadastro será o melhor complemento do meu código civil para alcançar uma ordem sistemática no registro legal da propriedade. As plantas cadastrais devem ser tão desenvolvidas e serem feitas com tal exatidão, que elas possam permitir em qualquer tempo definir e registrar os limite das propriedades territoriais e prevenir a confusão que possam aparecer em outras leis.

Bullock, 1983 apud Carneiro (2002) referindo-se ao trabalho de Dowson e Sheppard, 1956 apresenta as principais características do Cadastro Napoleônico:

- a) Definição da parcela como uma porção da superfície da terra dividida por qualquer limite físico, sujeita ao mesmo uso e encargos e possuída pela mesma pessoa;
- b) Estabelecimento de uma rede de triangulação de referência para as medições;
- c) Realização do levantamento / medição das propriedades amarradas à rede de triangulação;
- d) Identificação das parcelas através de um código único;

- e) Confecção de plantas das parcelas nas escalas 1:1250 a 1:2500 e mapas-índice nas escalas 1:5000 a 1:10000;
- f) Cálculo das áreas das parcelas;
- g) Elaboração de um índice das parcelas com nomes e endereços dos proprietários, natureza do cultivo, construções e benfeitorias;
- h) Elaboração de um índice de proprietários com identificação das parcelas possuídas por cada um e a respectiva taxa de imposto;
- i) Publicação dos resultados dos levantamentos;
- j) Atualização anual dos índices de parcelas e de proprietários a partir de dados fornecido pelo Registro de Imóveis.

O Cadastro Napoleônico foi um projeto notável para a época, principalmente pelo cuidado do levantamento e elaboração das plantas das parcelas cadastrais, apesar de ter ocorrido algumas imperfeições nas primeiras plantas. A principal falha do projeto, no entanto foi a não previsão de atualização das plantas cadastrais. No início essa falha não foi percebida devido a pouca mobilidade da estrutura fundiária. No entanto, as primeiras manifestações da Revolução Industrial motivaram o desenvolvimento das vias de comunicações, da economia rural, da urbanização, e isso fez com que ocorressem modificações consideráveis da propriedade fundiária. As plantas cadastrais foram então perdendo seu valor, exigindo-se uma reforma no antigo cadastro.

Em alguns países, o Cadastro Napoleônico foi implementado com previsão de atualização contínua, proporcionando vida longa à informação cadastral. Na Alemanha, por exemplo, o Cadastro Napoleônico iniciado no século XVIII constitui-se na base do atual sistema cadastral desse país. Verifica-se que os sistemas cadastrais originados do Cadastro Napoleônico ou inspirados nele adotam critérios de credenciamento de profissionais para atuar em atividades cadastrais. No âmbito da Comunidade Européia (UE), os principais exemplos desse sistema são a França, Alemanha, Suíça, Áustria, Bélgica e Dinamarca. Esses países são membros do GE - *Géomètres-Expert Fonciers Européens*, criado em 1994 para representar os profissionais autônomos credenciados para atuar no Cadastro (Pinto, 2001).

2.3 Parcela territorial

No âmbito do Cadastro, o conceito de parcela territorial não é novo, sendo adotado desde o final do século XVIII, pelo Cadastro Napoleônico conforme discutido no item 2.2. Já naquela época, a parcela foi definida como sendo uma porção da superfície da terra delimitada fisicamente, sujeita ao mesmo uso e encargos e possuída pela mesma pessoa.

Essa definição continua atual e é adotada pela maioria dos sistemas cadastrais existentes no mundo. Nesse mesmo sentido, a FIG - *International Federation of Surveyors* (FIG, 1991; FIG, 1995), considera a parcela como sendo a unidade territorial básica do Cadastro, correspondente a uma determinada extensão territorial com uma determinada característica, ou seja, uma porção do território com condições homogêneas de domínio. Cada parcela é definida por limites formais ou informais e possui um único código identificador.

2.3.1 Limites de parcelas territoriais

Os limites de parcelas territoriais consistem na delimitação geométrica dos direitos relacionados ao domínio territorial. Portanto, além do aspecto métrico / geodésico que é definido através do levantamento cadastral, os limites de parcelas envolvem o aspecto legal que, através do serviço de registro, fornece a garantia jurídica sobre o domínio.

Nos diferentes sistemas cadastrais existentes no mundo, observam-se três diferentes formas para determinar os limites das parcelas territoriais:

- a) de forma textual através da descrição dos limites e confrontantes da parcela;
- b) de forma gráfica através de cartas cadastrais;
- c) em forma numérica ou matemática que pode ser obtida através de uma descrição geométrica das linhas de limites em termos de direções e distâncias, ou então através de coordenadas dos pontos que definem os limites da parcela.

A forma textual ou descritiva não tem bases matemáticas, portanto não é adequada para caracterizar os limites de parcelas que são objetos com geometria definida. A forma gráfica não deve ser usada como informação cadastral básica uma vez que a carta cadastral é confeccionada a partir dos dados do levantamento cadastral e, portanto não representa todas as características métricas do levantamento cadastral original. Essas características são conservadas com a forma numérica ou matemática de determinação de limites de parcelas. No entanto a carta cadastral constitui-se num importante meio de visualização do levantamento cadastral, complementando assim a forma numérica.

Convém salientar que a forma numérica de determinação de limites de parcelas através de direções e distâncias das linhas de limites caracteriza a parcela apenas individualmente, não incorpora o aspecto de referência geodésica e restringe o uso do levantamento cadastral. Ou seja, nessas condições as informações métricas do levantamento cadastral não podem ser usadas num sistema de informações territoriais (LIS) permitindo o uso multifinalitário do cadastro. Essas deficiências, no entanto podem ser sanadas se os pontos que definem os limites de parcelas forem determinados através de coordenadas amarradas a um sistema de referência geodésica. Se essas coordenadas tiverem um caráter oficial e legal, fica então caracterizado um cadastro de coordenadas, discutido nesta pesquisa no item 3.3.

Verifica-se que os sistemas cadastrais são mais eficientes quando os limites da parcela são determinados através das coordenadas, conforme orientações da FIG (1991) que estabeleceu que:

Limites de parcelas podem ser definidos através de demarcação física no solo ou por uma descrição matemática normalmente baseado em um sistema de coordenadas. A precisão e custo dos levantamentos cadastrais dependem da precisão posicional desejada para a descrição do limite. A precisão posicional deve refletir fatores tais como o valor da terra, o risco e custo das disputas pela terra e das informações que os usuários do cadastro precisam.

A definição da FIG de limite de parcela evidencia a precisão posicional na descrição do limite. Essa foi uma das principais questões analisadas nesta pesquisa. Aspectos gerais da qualidade posicional do levantamento cadastral foram discutidos no item 3.4. A questão da tolerância posicional para o sistema cadastral brasileiro foi analisada no item 4.2.

2.3.2 Características da parcela territorial

As principais características da parcela territorial referem-se às condições homogêneas do domínio, e podem ser analisadas sob os seguintes aspectos:

- a) Continuidade espacial, ou seja, todo o território é considerado, dividido em parcelas, sendo que cada uma delas faz limite sempre com uma outra;
- b) Unicidade dominial, ou seja, cada parcela só pode ser apropriada ou possuída por uma pessoa, física ou jurídica;
- c) Mesma situação jurídica, ou seja, cada parcela apresenta uma única condição legal, por exemplo, propriedade particular, propriedade pública, posse;
- d) Mesma situação administrativa, ou seja, a parcela deve respeitar as divisões administrativas do território, devendo fazer parte, por exemplo, de um único estado, município, distrito, bairro, zona urbana, zona rural, etc;
- e) Mesmo uso, ou seja, cada parcela deve ter um uso exclusivo, por exemplo, cultivo, construção, circulação, reserva ambiental, etc.

2.3.3 Vantagens de um sistema cadastral parcelar

As principais vantagens de se adotar o conceito de parcela territorial num sistema cadastral são as seguintes:

- a) Propicia a cobertura completa do território sem que haja lacunas ou superposições entre as parcelas;
- b) Não interfere nos diferentes conceitos de unidade territorial que são adotados, ou seja, as várias instituições não precisam mudar as rotinas de trabalho uma

vez que cada unidade territorial específica pode ser constituída de uma ou mais parcelas;

- c) Favorece a determinação dos limites das parcelas com base no Princípio da Vizinhaça das medições geodésicas, conforme discutido no Capítulo 3.

2.4 O cadastro no Brasil

No Brasil o termo cadastro está associado aos registros de clientes ou de usuários contendo informações diversas referentes a pessoas físicas ou jurídicas. Portanto não tem o mesmo significado do conceito de cadastro da FIG, adotado internacionalmente, relacionado ao inventário público e oficial de parcelas territoriais baseado no levantamento dos seus limites. Para esse entendimento, no Brasil usam-se principalmente os termos “cadastro técnico” e “cadastro imobiliário”.

Presume-se que o termo “cadastro técnico” foi criado para diferenciar o cadastro com o significado de registro público de bens de raiz daquele registro de clientes. Mesmo assim esse entendimento não pode ser generalizado, dada a existência de “cadastros técnicos” que não tem relação com bens de raiz. É o caso, por exemplo, dos cadastros instituídos pela Lei 6.938 / 81 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente: a) *Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental*, para registro obrigatório de pessoas físicas ou jurídicas que se dedicam a consultoria técnica sobre problemas ecológicos e ambientais e à indústria e comércio de equipamentos, aparelhos e instrumentos destinados ao controle de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras e, b) *Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais*, para registro obrigatório de pessoas físicas ou jurídicas que se dedicam a atividades potencialmente poluidoras e/ou à extração, produção, transporte e comercialização de produtos potencialmente perigosos ao meio ambiente, assim como de produtos e subprodutos da fauna e flora.

Quando referido aos bens de raiz, verifica-se que no Brasil, tanto o “cadastro técnico” como também o “cadastro imobiliário” tem por unidade territorial o imóvel, constituído geralmente pelo lote ou gleba e edificações ou benfeitorias, se houverem. Normalmente, esses cadastros são estabelecidos para fins tributários. Como a unidade é o imóvel, o cadastro não contém todas as parcelas de uma determinada área, mas apenas aquelas de interesse fiscal, não considerando como parcelas cadastráveis logradouros e outras áreas públicas.

A inexistência no Brasil, de um sistema de cadastro com a concepção da FIG, organizado e confiável, resulta num sistema de registro legal incompleto e incorreto. Isso ocorre devido à impossibilidade de se garantir a definição geométrica dos limites dos imóveis. As principais consequências disso são:

- a) a dificuldade de o registro cumprir sua função de garantia da propriedade com fé pública;
- b) a existência de conflitos e ocorrência de ações judiciais de disputa de domínio;
- c) a falta de equidade tributária;
- d) a imprecisão de informações úteis ao planejamento e controle das intervenções territorial, tais como empreendimentos e projetos de obras, avaliação de imóveis, contratos de compra e venda e de indenização, entre outros.

No Brasil, ao contrário do que ocorre em alguns outros países, não há uma legislação específica que trate do cadastro. Com isso, os “cadastros técnicos” ou os “cadastros imobiliários” são realizados sem que haja algum tipo de padronização de procedimentos na sua execução. Assim, por exemplo, poucos são os cadastros em que são realizadas medições dos limites dos imóveis. Normalmente, os cadastros técnicos ou os cadastros imobiliários são constituídos de uma relação (lista) dos imóveis de uma área com informações relacionadas a eles, no entanto, desprovidos de dados de natureza métrica / geodésica confiável e, portanto, constituem-se de fato em censos imobiliários.

Carneiro (2002) chama a atenção do fato de que nos países onde os sistemas de cadastros são mais eficientes possuem legislação cadastral própria, e também órgãos ou instituições que tratam especificamente do cadastro.

2.4.1 O cadastro nas áreas rurais e a Lei 10.267 / 2001

No Brasil, o cadastro é tratado de forma distinta se o imóvel se encontra em uma área rural ou em uma área urbana. O cadastro de imóveis rurais no Brasil foi inicialmente estabelecido pelo Estatuto da Terra – Lei 4.504 de 30/11/1964, conforme disposto no Art. 46 (BRASIL, 1964): “*O Instituto Brasileiro de Reforma Agrária promoverá levantamentos... para a elaboração do cadastro dos imóveis rurais em todo o país...*”. O Instituto Brasileiro de Reforma Agrária é atualmente denominado de INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. A regulamentação e efetiva implantação desse cadastro só ocorreram a partir da Lei 5.868 de 12/12/1972 que instituiu o Sistema Nacional de Cadastro Rural – SNCR (BRASIL, 1972).

Da mesma forma que no Estatuto da Terra, a Lei 5.868 / 72 também não indicou os procedimentos técnicos necessários para caracterização espacial dos imóveis rurais. Na prática o Sistema Nacional de Cadastro Rural foi construído a partir de uma sistemática declaratória, ou seja, as informações cadastrais foram obtidas através da declaração dos detentores de imóveis rurais. Com isso, os elementos espaciais exigidos nesse cadastro, principalmente a localização geográfica e a área do imóvel, foram levantados sem rigor métrico / geodésico. Assim, o Sistema Nacional de Cadastro Rural, não obstante ser a maior e principal fonte de informações sobre a estrutura fundiária brasileira, constitui-se de fato num censo dos imóveis rurais do país, incompleto e impreciso, e sem referência geodésica.

Essa situação pode melhorar com a recente aprovação da Lei 10.267 de 28/08/2001 (BRASIL, 2001) e da sua regulamentação, o Decreto 4.449 de 30/10/2002 (BRASIL, 2002). Essa nova legislação criou o Cadastro Nacional de Imóveis Rurais, e estabeleceu dois novos mecanismos no âmbito da organização territorial brasileira:

- a) o intercâmbio de informações entre o INCRA, instituição gerenciadora do Cadastro Nacional de Imóveis Rurais - CNIR, e os cartórios de Registro de

Imóveis, que pode representar efetivamente o início de uma necessária interligação entre cadastro e registro territorial no Brasil;

- b) a exigência de um levantamento cadastral, quando estabeleceu que nos casos de desmembramento, parcelamento ou remembramento e em todos os autos judiciais que versem sobre imóveis rurais, a identificação desses imóveis “*será obtida a partir de memorial descritivo, 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 fixada pelo INCRA*”.

A Lei 10.267 / 01 foi uma iniciativa do MDA – Ministério do Desenvolvimento Agrário que designou o INCRA como a instituição responsável pela elaboração de uma proposta inicial. O processo teve a participação da sociedade em geral, inclusive com discussão pública pela internet durante algumas semanas do ano de 2000. A inclusão no texto da Lei de dispositivos caracterizando o cadastro de coordenadas (ver item 3.3.3) e a necessidade de se estabelecer critérios para a definição da tolerância posicional, por exemplo, foram propostas oriundas das discussões conjuntas do Grupo de Trabalho em Cadastro da UFSC, do Grupo de Geodésia e Topografia da UFSC, e do Grupo de Cadastro da UFPE, acatadas pela comissão de elaboração da Lei a partir da apresentação e defesa pelos representantes do IRIB – Instituto de Registro Imobiliário do Brasil.

O artigo de Carneiro e Brandão (2002) apresenta as principais questões tratadas na Lei 10.267 / 2001 e no Decreto 4.449 de 30/10/2002, e discute os principais pontos necessários para assegurar a efetiva aplicação da Lei. Dentre esses pontos, os principais se referem ao intercâmbio de informações entre o INCRA e os Cartórios de Registro de Imóveis, ao processo de retificação do registro, à definição de imóvel rural, ao conteúdo do CNIR, e aos procedimentos técnicos para o georreferenciamento dos imóveis rurais.

Os levantamentos para fins de identificação dos imóveis rurais de que trata a Lei 10.267 / 2001 devem ser executados por profissionais qualificados em medições

cadastrais. A exigência da Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) pela Lei 10.267 / 2001 é uma segurança em termos da responsabilidade civil e penal decorrentes das medições realizadas. No entanto, a ART não representa uma garantia para a qualidade dos levantamentos. Essa qualidade somente será obtida com uma qualificação técnica dos profissionais, aliado a uma padronização dos procedimentos técnicos de medição, e fiscalização.

A Decisão PL-0024 de 21/02/2003 do CONFEA – Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia, relativo à consulta do INCRA acerca dos profissionais habilitados a desenvolverem atividades definidas pela Lei 10.267 / 2001 no tocante à regulamentação de propriedades rurais, concluiu que os profissionais habilitados para assumir a responsabilidade técnica dos serviços de determinação das coordenadas dos vértices definidores dos limites dos imóveis rurais para efeito do Cadastro Nacional de Imóveis Rurais – CNIR, são aqueles que tenham cursado os seguintes conteúdos formativos: a) Topografia aplicada ao georreferenciamento; b) Cartografia; c) Sistemas de referência; d) Projeções cartográficas; e) Ajustamentos; f) Métodos e medidas de posicionamento geodésico. A referida Decisão concluiu também que a atribuição correspondente será conferida às seguintes modalidades: Engenheiro Agrimensor, Engenheiro Agrônomo, Engenheiro Cartógrafo, Engenheiro de Geodésia e Topografia, Engenheiro Geógrafo, Engenheiro Civil, Engenheiro de Fortificação e Construção, Engenheiro Florestal, Engenheiro Geólogo, Engenheiro de Minas, Engenheiro de Petróleo, Arquiteto e Urbanista, Engenheiro de Operação – modalidades Estradas e Civil, Técnico de Nível Superior ou tecnólogo - da área específica, Técnico de Grau Médio em Agrimensura, Geólogo, Geógrafo, Tecnólogos e Técnicos de grau médio das áreas acima explicitadas.

No entanto, Pinto (2001) realizou um estudo acadêmico sobre o perfil técnico adequado para um profissional do cadastro, identificando aqueles vinculados apenas à engenharia de agrimensura e à engenharia cartográfica como os mais qualificados no Brasil, a exercer atividades cadastrais. Complementando esse estudo, Pinto et al (2002) propõem o estabelecimento de um sistema de credenciamento de profissionais para a execução desses levantamentos. No

âmbito da Lei 10.267 / 2001, o INCRA pode ser a instituição responsável em estabelecer os critérios desse credenciamento.

2.4.2 O cadastro nas áreas urbanas

Diferentemente do que ocorre nas áreas rurais, não há uma legislação específica sobre o cadastro em áreas urbanas no Brasil. Apenas nos códigos tributários municipais encontra-se menção direta ao cadastro imobiliário urbano, com finalidade estritamente fiscal. Isso aconteceu a partir da Constituição Federal de 1946 que definiu e assegurou aos municípios brasileiros a autonomia no que se refere à decretação e arrecadação de tributos de sua competência. Desde então, os municípios passaram a se organizar para a cobrança de tributos.

A Lei 5.172 de 25/10/1966 (Código Tributário), nos Art. 32 ao Art. 34, instituiu o imposto sobre a propriedade predial e territorial urbana sob responsabilidade das prefeituras municipais. A partir de então surgiram os primeiros cadastros fiscais imobiliários (Silva, 1979). Ou seja, na prática, o principal objetivo do cadastro em áreas urbanas no Brasil é a tributação sobre o uso do solo urbano, e em alguns casos em atividades de planejamento.

Nas últimas décadas vêm ocorrendo, em alguns poucos municípios brasileiros, uma preocupação em estabelecer um cadastro imobiliário mais qualificado do ponto de vista métrico. Mais recentemente, algumas prefeituras passaram a exigir o georreferenciamento das plantas cadastrais, através de decreto municipal. Uma importante contribuição nesse sentido foi proporcionada pela norma técnica NBR 14.166 – Rede de Referência Cadastral – Procedimentos - ABNT (1998). No entanto, o modelo de cadastro normalmente adotado no Brasil, o conhecido Cadastro Técnico Municipal (CTM), não tem resolvido o problema das incertezas dos limites de imóveis e de suas posições legais. Isso por que não foi estabelecido um procedimento padronizado do ponto de vista técnico para a realização desses cadastros.

Os levantamentos para fins de cadastro no Brasil, quando realizados, obedecem a diferentes padrões técnicos gerando, portanto produtos que não podem ser comparados entre si. Não há, por exemplo, preocupações quanto às exigências métricas / geodésicas relacionadas aos métodos dos levantamentos e à precisão posicional necessária. Normalmente utilizam-se exclusivamente métodos fotogramétricos de levantamento, o que não é recomendado uma vez que a identificação das feições topográficas na fotografia não significa a obtenção da posição correta dos limites de imóveis.

Além disso, geralmente não são realizadas manutenções desses cadastros com atualizações contínuas. E permanece a prioridade do cadastro para fins fiscais somente, de forma que todo esse esforço poderia ser mais aproveitado caso ocorresse uma articulação no sentido de promover em cada município brasileiro um sistema de informações territoriais multifinalitário.

2.5 Conceito de unidade territorial no Brasil

O sistema cadastral brasileiro é caracterizado pela falta de padronização, em todos os aspectos – conceituais, legais, técnicos e administrativos. Essa falta de padronização é percebida quando se analisa, por exemplo, a definição da unidade territorial básica adotada nas diversas atividades relacionadas ao gerenciamento territorial. A definição da unidade territorial básica é necessária para caracterizar as condições com que o território é espacialmente ocupado.

No que se refere à unidade territorial, a legislação brasileira apresenta uma variedade de termos e definições, que foram estabelecidos em função de necessidades específicas de determinada atividade. Assim, por exemplo, encontram-se os termos: imóvel, lote, gleba, propriedade, estabelecimento e prédio. O termo “imóvel” é o mais usado no Brasil, sendo genericamente definido pelo atual Código Civil Brasileiro ou Lei nº 10.406 de 10/01/2002 em vigor a partir de 10/01/2003 (BRASIL, 2002):

Art. 79. São bens imóveis o solo e tudo quanto se lhe incorporar natural ou artificialmente.

Art. 80. Consideram-se imóveis para os efeitos legais:

I - Os direitos reais sobre imóveis e as ações que os asseguram.

No entanto, quando o “imóvel” é definido com vista à caracterização de uma unidade territorial, diferentes critérios são usados e muitas vezes ocorrem conflitos. Normalmente a legislação tributária e as leis agrárias e de uso do solo distinguem o imóvel urbano do rural, utilizando diferentes critérios, uns por destinação ou tipo de exploração, outros por localização. Assim, um imóvel que é usado em uma atividade agropecuária, mas que esteja localizado na zona urbana de algum município brasileiro, é considerado um imóvel rural em alguns casos, e um imóvel urbano em outros.

Analisando o termo “imóvel rural”, por exemplo, encontram-se diferentes critérios e definições. A Secretaria da Receita Federal (SRF) responsável pela cobrança do Imposto Territorial Rural (ITR) segue a legislação tributária que adota o critério de localização. O INCRA responsável pelo Sistema Nacional de Cadastro Rural segue a definição do Estatuto da Terra – Lei 4.504 / 64 (BRASIL, 1964) que adota o critério de destinação ou exploração do imóvel.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) responsável pelo Censo Agropecuário utiliza o critério de destinação, e define a unidade territorial em termos de um “estabelecimento agropecuário” como sendo todo terreno de área contínua, independente do tamanho ou situação (urbana ou rural), formado de uma ou mais parcelas, subordinado a um único produtor, onde se processe uma exploração agropecuária, ou seja, o cultivo do solo com culturas permanentes ou temporárias, inclusive hortaliças e flores, a criação, recriação ou engorda de animais de grande e médio porte, a criação de pequenos animais, a silvicultura ou o reflorestamento e a extração de produtos vegetais, excluindo-se da investigação os quintais de residência e hortas domésticas.

Por outro lado, o Registro de Imóveis não faz distinção entre imóveis rurais ou urbanos, mas adota determinados critérios para definir a continuidade das áreas

passíveis de registro, que não são considerados por outras organizações. Assim, por exemplo, um imóvel que é entrecortado por um limite administrativo (estadual, municipal, distrital), rodovias, ferrovias ou rios navegáveis, terá uma matrícula no Registro de Imóveis correspondente a cada porção.

O imóvel rural é definido pelo INCRA de acordo com o Art 4º da Lei 4.504 / 1964 - Estatuto da Terra (BRASIL, 1964), “é o prédio rústico, de área contínua, qualquer que seja sua localização, que se destine à exploração extrativa, agrícola, pecuária ou agroindustrial, quer através de plano público de valorização, quer através de iniciativa privada”. Esse conceito foi também contemplado pela Lei 8.629 / 1973 – imóvel rural é o “prédio rústico de área contínua, qualquer que seja sua localização, que se destine ou possa se destinar à exploração agrícola, pecuária, extrativa vegetal, florestal ou agro-industrial” (INCRA, 2000).

Ainda segundo INCRA (2000), o termo “área contínua” inserido no conceito de imóvel rural na legislação agrária significa que, áreas contíguas, pertencentes a um mesmo proprietário, mesmo que cada uma dessas áreas tenha matrícula própria no Registro Imobiliário, compõe um único imóvel rural. A quebra da continuidade do imóvel rural se configura quando existe uma interrupção do empreendimento econômico desenvolvido, ou que possa ser desenvolvido no mesmo. Conseqüentemente, áreas de um mesmo proprietário, entrecortadas por rodovias, ferrovias, rios, limites municipais e divisas estaduais, ou qualquer outro acidente geográfico, somente se configuram em imóveis rurais distintos quando inexistir possibilidade de explorá-las como um todo. No entanto, se as áreas das rodovias ou ferrovias federais, das rodovias estaduais ou municipais que entrecortam o imóvel rural estiverem sobre o domínio das entidades públicas correspondentes, se configura quebras de continuidade, independente da visão do empreendimento econômico.

Esse mesmo entendimento se mantém no “Manual de Orientação para Preenchimento da declaração para Cadastro de Imóveis Rurais” (INCRA, 2002), que considera

... como um único imóvel rural, uma ou mais áreas confinantes, registradas ou não, pertencentes ao mesmo proprietário ou posseiro, de forma individual ou em comum (condomínio ou com posse), mesmo na ocorrência das hipóteses abaixo:

I- estar situado total ou parcialmente em um ou mais municípios;

II- estar situado total ou parcialmente em zona rural ou urbana;

III- ter interrupções físicas tais como: cursos d'água e estradas, desde que seja mantida a unidade econômica, ativa ou potencial.

2.6 Proposta de parcela territorial para o sistema cadastral brasileiro

O sistema cadastral brasileiro não adota o conceito de parcela territorial. Nesta pesquisa discute-se, a partir de uma visão internacional, a parcela territorial em seus aspectos históricos, conceituais e operacionais. De forma específica e a partir de análises da realidade, avalia-se a possibilidade de se adotar o conceito de parcela territorial no sistema cadastral brasileiro. A proposta apresentada levou em conta a legislação pertinente, bem como as necessidades de caracterização espacial do domínio territorial de várias instituições brasileiras.

A principal vantagem na adoção de um conceito de parcela territorial num sistema cadastral é que possibilita o compartilhamento de informações entre as várias organizações que atuam em atividades relacionadas ao gerenciamento territorial. A parcela territorial deve ser definida então, de forma a atender as necessidades das várias instituições, que inclusive não precisam modificar seus respectivos conceitos de unidade territorial, estabelecidos historicamente e incorporados às rotinas consolidadas.

Convém salientar, no entanto que a efetiva aplicação do conceito de parcela territorial no Brasil, fica condicionado à existência de uma estrutura organizacional com abrangência nacional do sistema de cadastro. Essa discussão não faz parte dos objetivos desta pesquisa. No entanto duas alternativas podem ser adotadas: a criação de uma instituição gerenciadora do sistema cadastral brasileiro, ou então o estabelecimento de mecanismos com vistas ao gerenciamento compartilhado do

cadastro “lato senso” com uma padronização mínima de procedimentos de execução das atividades cadastrais. Com isso, evitar-se-ia a superposição de tarefas e o desperdício de recursos.

2.6.1 Necessidades institucionais

Para satisfazer as necessidades de gerenciamento territorial das várias instituições brasileiras, a realidade atual da estrutura cadastral brasileira propicia a existência de vários cadastros específicos bem como a criação de outros. A criação de uma lei nacional de cadastro territorial pode representar um importante avanço nesse sentido sendo uma das recomendações desta pesquisa (item 6.2). Importante ressaltar, no entanto que a informação básica do cadastro, ou seja, a identificação geodésica dos limites das parcelas territoriais deve ser usada como o registro oficial da caracterização geométrica da ocupação territorial.

No Brasil, diversas instituições no passado e no presente forneceram e fornecem títulos públicos relacionados ao domínio territorial. Como exemplo ilustrativo da grande variedade desses títulos, os seguintes documentos foram apresentados ao INCRA para comprovar o domínio territorial por ocasião da execução do Cadastro Técnico realizado na Região Metropolitana de Recife (LASA, 1975): Carta de Aforamento, Carta de Adjudicação, Carta de Arrematação, Contrato de Compromisso (ou Promessa de Compra e Venda), Contrato de Enfitese, Contrato Particular, Escritura Pública de Cessão de Direitos Hereditários, Escritura Pública de Compra e Venda, Escritura Pública de Constituição de Sociedade, Escritura Pública de Datio Solutum, Escritura Pública de Demarcação, Escritura Pública de Demarcação Judicial, Escritura Pública de Divisão Amigável, Escritura Pública de Divisão Geodésica, Escritura Pública de Doação, Escritura Pública de Doação com Reserva de Usufruto, Escritura Pública de Partilha Amigável, Escritura Pública de Permuta, Escritura Pública de Promessa de Compra e Venda, Escritura Pública de Re-ratificação, Formal de Partilha, Recibo (simples), Recibo Particular de Compra e Venda (firmado), Registro de Incorporação, e Usucapião.

As necessidades institucionais no Brasil quanto à caracterização física da ocupação territorial podem ser atendidas por um sistema de cadastro eficiente que adote a parcela territorial como unidade espacial básica. Para tanto, a parcela territorial deve ser definida considerando as especificidades das organizações que lidam com o aspecto físico do território, bem como a legislação pertinente. Nesse sentido a parcela territorial para o sistema cadastral brasileiro deve conter características de continuidade territorial, ter unicidade de domínio, possuir uma mesma situação jurídica e uma mesma situação administrativa, conforme especificado no item 2.6.2.

As especificidades da definição da parcela territorial a ser adotada como unidade espacial básica pelo sistema cadastral brasileiro, dependem diretamente da forma de organização da estrutura cadastral do país. A se manter a atual estruturação, cada instituição ou organização tende a se responsabilizar apenas pelos seus respectivos cadastros, definindo a unidade espacial básica que lhe for conveniente.

Analisando, por exemplo, a Lei 10.267 / 2001 que criou o Cadastro Nacional de Imóveis Rurais (CNIR), gerenciado pelo INCRA e SRF, determinadas questões relacionadas à unidade territorial básica precisam ser resolvidas. O CNIR define o imóvel rural como a unidade básica. No entanto o conceito de imóvel rural para o INCRA não é o mesmo da SRF, conforme discutido no item 2.5. A referida Lei também prevê a produção e o compartilhamento do CNIR por diversas instituições públicas federais e estaduais produtoras e usuárias de informações sobre o meio rural brasileiro. Isso só será possível se as informações do CNIR satisfizerem as necessidades das diversas instituições.

2.6.2 Características da proposta de parcela territorial para o cadastro no Brasil

A proposta de parcela territorial a ser adotada pelo sistema cadastral brasileiro considera a perspectiva do estabelecimento no Brasil de um sistema de cadastro

territorial que seja completo, cobrindo todo o território, incluindo as restrições e conveniências públicas e privadas. Assim, as principais características a serem incorporadas de forma simultânea à definição de parcela territorial são as seguintes:

a) Continuidade espacial:

Uma parcela territorial não deve ter descontinuidade espacial. Cada parcela deve fazer limite sempre com uma outra. Ou seja, uma parcela não pode ser entrecortada por um limite legal ou administrativo considerado pelo sistema cadastral.

b) Unicidade dominial:

O direito das coisas consiste no conjunto de normas que regulam as relações jurídicas concernentes aos bens materiais ou imateriais suscetíveis de apropriação pelo homem. No caso da parcela territorial, a apropriação deve caracterizar-se pela unicidade dominial relativo à pessoa física ou jurídica de domínio público ou privado.

O Novo Código Civil - Lei n 10.406, de 10/01/2002 (BRASIL, 2002), em vigor a partir de 10/01/2003, no Livro III que regula o direito das coisas, estabelece a seguinte sistemática quanto a apropriação de bens imóveis:

Proprietário – é a pessoa física ou jurídica que possui imóvel válido e regularmente destacado do patrimônio público, registrado em seu nome no Registro de Imóveis. O proprietário detém o domínio pleno, ou seja, o domínio útil e direto. O domínio útil diz respeito ao direito de usar ou usufruir do imóvel. O domínio direto diz respeito ao direito de dispor do imóvel, inclusive revê-lo do poder de quem injustamente o possua ou detenha.

Usufrutuário – é o titular do direito de usufruto de um bem imóvel através de cessão ou reserva de usufruto, possuindo, usando, administrando e percebendo seus frutos, não podendo, entretanto, dispor do imóvel.

Nu-proprietário – é a pessoa que detém o direito de dispor do imóvel (domínio direto), não podendo, entretanto, utilizá-lo ou usufruí-lo, visto que esse direito ficou reservado ao usufrutuário (domínio útil).

Posseiro a Justo Título – é a pessoa que exerce o direito de posse, que configura por um ato translativo de domínio, cujo título não foi ainda levado ao registro imobiliário.

Posseiro por simples ocupação – posseiros sem documentos de titulação, promitentes compradores que detém a posse e os titulares da posse oriunda de concessão de uso fornecida pelo Governo Federal, Estadual ou Municipal.

Enfiteuta ou Foreiro – é a pessoa que possui o domínio útil do imóvel através de constituição de um título de domínio caracterizado como “Carta de Aforamento ou Enfiteuse”. Esse tipo de apropriação não consta no atual Código Civil, mas foi estabelecida no Código anterior, a Lei 3.071 / 1916.

c) Mesma situação jurídica:

Cada parcela territorial deve apresentar uma única condição legal, podendo ser uma propriedade pública, uma propriedade particular, ou uma posse a qualquer título. Seja, por exemplo, um imóvel constituído de uma área contígua pertencente a um mesmo detentor, mas que parte seja uma propriedade (com Registro Imobiliário) e outra parte seja uma posse a qualquer título. Então, cada situação jurídica relacionada ao domínio, a propriedade ou a posse, constituirá uma parcela distinta. A caracterização física do imóvel será a junção das duas parcelas.

O patrimônio público especificado em lei, incluindo os imóveis próprios e os bens de uso comum, deve ser considerado na definição da parcela. A Constituição Federal (BRASIL, 1988) inclui dentre os bens da União: as terras devolutas indispensáveis à defesa das fronteiras, das fortificações e construções militares, das vias federais de comunicação e à preservação ambiental; os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias

fluviais; as ilhas fluviais e lacustres nas zonas limítrofes com outros países; os terrenos de marinha e seus acrescidos; as terras tradicionalmente ocupadas pelos índios; as praias marítimas; as ilhas oceânicas e as costeiras, excluídas destas as áreas pertencentes aos Estados. Dentre os bens dos Estados, incluem-se: as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito; as áreas, nas ilhas oceânicas e costeiras, que estiverem no seu domínio, excluídas aquelas sob domínio da União, Municípios ou terceiros; as ilhas fluviais e lacustres não pertencentes à União; as terras devolutas não compreendidas entre as da União.

d) Mesma situação administrativa:

Os limites da parcela territorial devem respeitar as divisões administrativas do território, devendo fazer parte, por exemplo, de um único estado, município, distrito, bairro, comarca, circunscrição jurídica, circunscrição administrativa, zona urbana, zona rural, etc. Ou seja, o sistema cadastral deve considerar todos os limites administrativos usados no território brasileiro.

3 PRINCÍPIO DA VIZINHANÇA NAS MEDIÇÕES GEODÉSICAS

As finalidades deste Capítulo são caracterizar o Princípio da Vizinhança das medições geodésicas (item 3.1), caracterizar o levantamento cadastral (item 3.2), caracterizar o cadastro de coordenadas (item 3.3), discutir os critérios de qualidade posicional do levantamento cadastral (item 3.4), e discutir as aplicações do Princípio da Vizinhança no levantamento cadastral (item 3.5).

3.1 O Princípio da Vizinhança

O **Princípio da Vizinhança** é definido pela NBR 13.133 – Execução de levantamento topográfico (ABNT, 1994 - definição 3.35, pág. 4) como sendo a

Regra básica da geodésia que deve ser também aplicada à topografia. Esta regra estabelece que cada ponto novo determinado deve ser amarrado ou relacionado a 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 aos dos que serviram de base a sua determinação, não importando o grau de precisão desta determinação.

A definição do Princípio da Vizinhança pela ABNT evidencia a inferior qualidade posicional dos pontos novos de um levantamento em relação aos pontos que serviram de amarração. Essa condição, no entanto, não foi considerada nesta pesquisa uma vez que o Princípio da Vizinhança deve ser entendido como o procedimento que garante a homogeneidade do levantamento.

A homogeneidade do levantamento ocorre quando seus pontos apresentam as mesmas tensões geométricas (ver item 3.5.1). Para tanto, as posições de todos os pontos do levantamento devem ser determinadas com um valor de precisão posicional que seja estatisticamente suficiente para garantir que a tolerância posicional pré-definida tenha sido atingida. As posições e as respectivas

precisões posicionais são resultados do ajustamento e, portanto podem ser comprovadas estatisticamente.

A aplicação do Princípio da Vizinhança nas medições dos pontos de um levantamento é uma garantia de sua qualidade métrica. Sua principal vantagem consiste na determinação das incertezas das posições dos pontos que podem ser confrontados e confirmados. As condições para a aplicação do Princípio da Vizinhança em um levantamento são basicamente duas, a medição de todos os pontos do levantamento com observações de controle (ver item 4.3.1), e a determinação das posições de todos os pontos do levantamento através de um ajustamento por mínimos quadrados. No item 3.5 discute-se a aplicação do Princípio da Vizinhança no levantamento cadastral

Os elementos representativos do Princípio da Vizinhança de um levantamento são os parâmetros estatísticos de avaliação da qualidade posicional dos pontos. Esses parâmetros são derivados da matriz variância-covariância (MVC) das coordenadas ajustadas do levantamento. Nesta pesquisa adotou-se a precisão posicional como indicador estatístico do Princípio da Vizinhança. A precisão posicional consiste na incerteza da posição de um ponto do levantamento e pode ser representada sob forma de uma elipse de confiança. Isso facilita o processo interativo de pré-análise e otimização do levantamento, conforme discutidos no item 5.1.

No Brasil, normalmente o Princípio da Vizinhança não é adotado nas medições de pontos de detalhes do levantamento, mas apenas, e em alguns casos, nas redes de referência. As normas de levantamentos geodésicos / topográficos no Brasil não fazem exigências sobre a determinação de valores de precisão posicional dos pontos de detalhes através de um indicador estatístico (ABNT, 1994; ABNT, 1998; ABNT, 2001, INCRA, 2001, ITESP, 1998). Geralmente, quando se referem aos pontos de detalhes, essas normas estabelecem apenas padrões de qualidade métrica para a observação / medida direta. No entanto, exigir alta precisão da grandeza observada não é uma garantia de se obter alta precisão nos resultados finais.

3.2 Levantamento Cadastral

No âmbito da geodésia, o termo “levantamento” (“surveying”) é usado para designar os procedimentos de engenharia de medições com vistas à representação, numérica ou gráfica, de porções limitadas da superfície terrestre ou de elementos discretos sobre ela. De uma maneira geral, e de acordo com o propósito, os levantamentos podem ser classificados em (Bannister at all, 1992):

- a) **Levantamento ou mapeamento topográfico** que tem por objeto as feições naturais e artificiais;
- b) **Levantamento de engenharia** que tem por objeto os elementos das obras e empreendimentos de engenharia;
- b) **Levantamento cadastral** que tem por objeto os limites de parcelas territoriais que não necessariamente coincidem com feições do terreno.

3.2.1 Definições de levantamento pela NBR 13.133 – ABNT 1994

No Brasil a classificação dos levantamentos em topográficos, de engenharia e cadastrais é pouco aplicada, ao contrário do que se observa em nível internacional. Nas Normas Técnicas para Levantamentos Topográficos do INCRA (INCRA, 2001) essa classificação foi adotada, no entanto não é esse o entendimento geral. Normalmente, no Brasil, 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 13.133 – Execução de levantamento topográfico*, apresenta oito definições de levantamento, não esclarece a questão e consolidou a confusão existente no Brasil sobre o termo “levantamento” (ABNT, 1994 – definições 3.11 a 3.18, pág. 3). De forma resumida as definições de levantamento pela NBR 13.133 (ABNT, 1994) são:

- a) Definição 3.11 NBR 13.133: *Levantamento de detalhes* – destinado à determinação das posições planimétrica e/ou altimétrica dos pontos que vão permitir a representação do terreno;
- b) Definição 3.12 NBR 13.133: *Levantamento topográfico* – destinado à implantação e materialização de pontos de apoio no terreno;
- c) Definição 3.13 NBR 13.133: *Levantamento topográfico expedito* – destinado ao reconhecimento do terreno;
- d) Definição 3.14 NBR 13.133: *Levantamento topográfico planimétrico (ou levantamento planimétrico, ou levantamento perimétrico)* – destinado ao levantamento dos limites e confrontações de uma propriedade, incluindo se necessário, a identificação dominial do imóvel;
- e) Definição 3.15 NBR 13.133: *Levantamento topográfico altimétrico (ou nivelamento)* – destinado à representação altimétrica da superfície levantada;
- f) Definição 3.16 NBR 13.133: *Levantamento topográfico planialtimétrico* – junção da definição 3.14 NBR 13.133 com a definição 3.15 NBR 13.133;
- g) Definição 3.17 NBR 13.133: *Levantamento topográfico planimétrico cadastral* – consiste na definição 3.14 NBR 13.133 acrescido da determinação de certos detalhes visíveis tais como limites de vegetação ou de culturas, cercas, edificações, drenagem natural e artificial, árvores, posteamentos, etc;
- h) Definição 3.18 NBR 13.133: *Levantamento topográfico planialtimétrico cadastral* – junção da definição 3.16 NBR 13.133 com a definição 3.17 NBR 13.133.

Dois aspectos das definições de levantamento da NBR 13.133 merecem reflexões. A primeira é com relação ao termo “cadastral” que na norma brasileira se refere a determinados detalhes ou feições naturais ou artificiais do terreno. A outra é com relação ao entendimento de levantamento cadastral aceito internacionalmente, que na norma brasileira é denominado de *levantamento topográfico planimétrico (ou levantamento planimétrico, ou levantamento perimétrico)*. Propõe-se que esses aspectos sejam discutidos e suas definições reavaliadas e modificadas nas normas pertinentes.

3.2.2 Atividades do levantamento cadastral

Nesta pesquisa não foram consideradas as definições da NBR 13.133 (ABNT, 1994), sendo adotado o conceito de levantamento cadastral (“*cadastral surveying*”) preconizado pela FIG - *International Federation of Surveyors*. Ou seja, o **levantamento cadastral** consiste nos procedimentos usados para **caracterizar geodesicamente os pontos que definem os limites (estremas) de parcelas territoriais**.

Com esse entendimento, as seguintes atividades foram estabelecidas como parte integrante de um levantamento cadastral de parcelas territoriais:

a) **Descrição** das estremas:

Descrever ou explicar as características legais, jurídicas e administrativas, das linhas de limites (estremas) das parcelas territoriais, que não necessariamente coincidem com os limites físicos delimitados pelo domínio.

b) **Identificação** das estremas:

Identificar ou reconhecer no campo os pontos que definem as linhas de limites (estremas) das parcelas territoriais.

c) **Demarcação** das estremas:

Demarcar ou materializar no campo, se necessário, os pontos que definem as linhas de limites (estremas) das parcelas territoriais.

d) **Medição** das estremas:

Realizar a medição dos pontos que definem as linhas de limites (estremas) das parcelas territoriais, obedecendo as especificações técnicas exigidas.

e) **Representação gráfica** da parcela:

Representar graficamente as linhas de limites (estremas) das parcelas territoriais através de um mapa, ou seja, confeccionar o mapa ou planta cadastral.

f) **Restabelecimento** de estremas:

Restabelecer os pontos que definem as linhas de limites (estremas) de parcelas territoriais que foram perdidos ou danificados.

g) **Resolução de disputas**:

Resolver os aspectos técnicos de disputas judiciais e administrativas envolvendo conflitos e divergências acerca das linhas de limites (estremas) de parcelas territoriais.

h) **Cálculo de áreas** ou outras grandezas:

Calcular áreas ou outras grandezas geométricas considerando as linhas de limites (estremas) das parcelas territoriais.

i) Realizar **medições técnicas** relacionadas ou amarradas às linhas de limites (estremas) de parcelas territoriais, a exemplo de locações de edificações em relação aos limites.

3.3 Cadastro de coordenadas

O conceito de coordenadas cartesianas foi concebido em 1637 por René Descartes (★ 1596, † 1650), filósofo e matemático francês, aperfeiçoando assim o sistema de representação de fenômenos espaciais. Na atualidade, com os avanços nos processos de digitalização de todos os tipos de informação, a adoção de um sistema de coordenadas é fundamental. No âmbito das ciências geodésicas, pode-se afirmar que praticamente em todas as atividades é necessário realizar uma operação que envolve a determinação, transformação, ou homogeneização de coordenadas, sejam elas planas, esféricas, geográficas, ou de qualquer outro tipo.

Num sistema cadastral, as coordenadas podem ser usadas para caracterizar as posições dos pontos que definem os limites das parcelas territoriais. Os sistemas cadastrais são mais eficientes quando os limites da parcela territorial são determinados através das coordenadas. Essa é a forma mais adequada de caracterizar espacialmente as parcelas territoriais, e necessária num sistema cadastral moderno e automatizado.

O cadastro de coordenadas não deve ser entendido unicamente como sendo o levantamento cadastral com determinação das coordenadas dos pontos que definem os limites de parcelas territoriais. Mais do que isso, o conceito de

“cadastro de coordenadas” relaciona-se ao aspecto jurídico, ao valor legal dessa coordenada. Ou seja, o estabelecimento de um cadastro de coordenadas está condicionado à sua exigência na legislação. Nesta pesquisa não foi analisado o aspecto jurídico do cadastro de coordenadas, mas somente o aspecto geodésico.

O levantamento cadastral com determinação de coordenadas é uma possibilidade compatível com as atuais tecnologias de levantamentos, representada principalmente pelas estações totais topográficas eletrônicas, pelos sistemas de posicionamentos espaciais por satélites (p.ex. GPS), e pela fotogrametria. Observa-se em todo o mundo, uma tendência no uso de métodos mistos de levantamento, integrando as várias possibilidades. Isso indica que o aspecto técnico do levantamento cadastral possui uma solução exequível, permitindo a aplicação de métodos modernos e de baixo custo.

O cadastro de coordenadas representa um aperfeiçoamento de um sistema cadastral. A implantação de sistemas de cadastro de coordenadas vem ocorrendo de forma lenta e gradual até mesmo nos países que possuem cadastros sólidos e infra-estrutura legal, administrativa e de recursos humanos adequadas. Em países como o Brasil, carentes desses recursos, é previsível que ocorram problemas com sua implementação.

3.3.1 Características geodésicas do cadastro de coordenadas

Do ponto de vista geodésico, o cadastro de coordenadas tem por base a determinação da posição geodésica de todos os pontos definidores dos limites (estremas) das parcelas territoriais. A posição geodésica dos pontos é definida pelas suas respectivas coordenadas em um único sistema de referência e de indicadores estatísticos de sua qualidade métrica.

Portanto, tecnicamente, um ponto somente pode ter sua posição plenamente determinada e descrita quando incluir:

a) O valor da coordenada incluindo o tipo, se elipsóidica ou plana;

- b) O sistema de referência incluindo o datum e os pontos da rede que serviram de amarração;
- c) A época da medição;
- d) A indicação estatística da precisão posicional (ver item 4.4.4).

A aplicação do Princípio da Vizinhança nas medições cadastrais independe do tipo de coordenada usada. Portanto, o tipo de coordenada a ser adotado pelo sistema cadastral não foi analisado nesta pesquisa. Normalmente os sistemas cadastrais adotam coordenadas planas, no entanto coordenadas elipsóidicas (latitude e longitude) podem ser usadas (Moraes, 2001). A opção pelas coordenadas elipsóidicas tem por objetivo eliminar o uso de algum sistema de coordenadas solidário a uma projeção cartográfica. Com isso, evita-se a discussão de qual projeção cartográfica (UTM, RTM, LTM, e outras) é a mais adequada para o levantamento cadastral, bem como são eliminadas as distorções inerentes às projeções cartográficas. No entanto, os aplicativos computacionais desenvolvidos para o processamento de medições topográficas e geodésicas normalmente utilizam a projeção plana, o que vem inviabilizando em termos práticos, a adoção de coordenadas elipsóidicas no levantamento cadastral.

3.3.2 Vantagens do cadastro de coordenadas

As principais vantagens de um cadastro das coordenadas dos pontos que definem os limites da parcela territorial são as seguintes:

- a) Possibilita o aperfeiçoamento do sistema de registro territorial, definindo com mais clareza a geometria dos limites das parcelas, identificando lacunas e superposições entre parcelas e evitando ou minimizando fraudes de titulação;
- b) Possibilita a determinação de todos os elementos geométricos de interesse relacionados à parcela territorial, tais como áreas, distâncias e direções, através de funções matemáticas derivadas das coordenadas (ver item 4.4.5);
- c) Possibilita, sem exclusividade, a aplicação do Princípio da Vizinhança e conseqüentemente a determinação de indicadores estatísticos de precisão posicional do levantamento cadastral;

- d) Possibilita o georreferenciamento que é condição para o desenvolvimento de sistemas de informações geográficas (GIS) aplicados ao gerenciamento automatizado de informações territoriais (LIS), facilitando a integração de dados e a destinação multifinalitária do cadastro, incluindo a criação de modelos digitais de terrenos (MDT);
- e) Possibilita um maior potencial na automação dos processos que fazem uso de informações do cadastro;
- f) Possibilita a representação gráfica da parcela em qualquer escala nos casos de impressão da planta cadastral;
- g) Possibilita a transformação em qualquer sistema de coordenadas.

3.3.3 O cadastro de coordenadas no sistema cadastral brasileiro

No sistema cadastral brasileiro o conceito de cadastro de coordenadas tem um marco – a Lei 10.267 de 28 de agosto de 2001 (BRASIL, 2001). Pela primeira vez na história brasileira um dispositivo legal reconheceu a necessidade de medições com determinação de **coordenadas dos limites** da ocupação territorial. Antes da Lei 10.267 / 2001, o registro imobiliário utilizou-se de duas sistemáticas para caracterizar fisicamente os limites dos imóveis, os chamados sistema de registro comum e o registro Torrens, sem que houvesse sucesso nessa caracterização.

O sistema de registro comum, originado em leis do período imperial brasileiro, não estabeleceu mecanismos de interligação com o cadastro físico das ocupações territoriais. Não obstante, naquela época, a partir da Lei 601 / 1850 – Lei de Terras – foi estabelecido o que hoje pode ser considerado o primeiro sistema de cadastro dos limites físicos das ocupações territoriais no Brasil, com definição inclusive de procedimentos técnicos de medição e dos profissionais responsáveis por essa atividade. As medições das terras públicas eram de responsabilidade dos Órgãos de Terras criados para esse fim, e as medições das terras ocupadas por particulares eram de competência do profissional credenciado pelo Governo conhecido como Juiz Comissário de Medições. Esse assunto foi abordado sistematicamente no trabalho de Pinto (2001).

A Lei 601 não teve o sucesso desejado. Tanto foi assim que, com o advento da República em 1889, o sistema imobiliário brasileiro era confuso e deficiente. Inexistia um sistema capaz de assegurar e proteger a propriedade. Uma tentativa de aperfeiçoar o sistema foi a implantação do registro Torrens, criado pelo Decreto 451-B de 31/05/1890. O jurista Rui Barbosa, mentor desse Decreto, justificava o sistema Torrens como sendo a *“instituição de um processo expurgatório, destinado a precisar a propriedade, delimitá-la, e fixar de modo irrevogável, para com todos, os direitos do proprietário, autenticando-os em um título público”*.

No sistema Torrens, a publicidade é real, ou seja, registra-se a propriedade, não o proprietário. Quanto ao aspecto métrico / cartográfico, a grande vantagem do sistema Torrens reside na obrigatoriedade do registro de uma planta do imóvel com amarração geodésica. No entanto, já na regulamentação do registro Torrens no Brasil, com o Decreto 955-A de 05/11/1890, o sistema foi condenado ao insucesso uma vez que se tornou optativo, uma alternativa ao Registro de Imóveis vigente. Carvalho (1997) salienta que esse insucesso foi também decorrente da natureza judicial do registro Torrens brasileiro, a cargo da Justiça comum, e não administrativo, a cargo dos Cartórios de Imóveis, mais ágil, sendo essa a modalidade adotada nos países que utilizam esse sistema. A partir de 1939 com Código de Processo Civil disciplinando a inscrição de imóveis, o Registro Torrens foi admitido facultativamente apenas para os imóveis rurais (Erpen, 1987). Essa mesma orientação foi mantida na Lei 6.015 / 1973 – Lei de Registros Públicos.

Com relação ao registro comum, dois procedimentos são os mais usados para identificar os limites físicos. O mais usual consiste na descrição literal dos limites, sistema esse que não tem embasamento técnico na identificação física dos limites, sendo factível a incertezas e dúvidas. O outro procedimento, que não era obrigatório, consiste numa descrição geométrica do imóvel em termos de direções (azimute ou rumos) e distâncias lineares de cada linha de limite. No entanto, não havia exigências técnicas nessa descrição, as medições eram realizadas sem rigor e sem normas quanto à homogeneização dos resultados, e nem mesmo

preocupações quanto ao “encaixamento” geométrico entre imóveis vizinhos. Com isso, permaneciam as dúvidas e as incertezas quanto aos limites.

Assim, somente com a Lei 10.267 / 2001, o Brasil experimenta uma fase promissora na tentativa de melhorar o sistema de cadastro territorial, e como consequência aperfeiçoar o registro de imóveis no Brasil (ver item 2.4.1). A Lei 10.267 / 2001, que se limitou aos imóveis rurais, instituiu o cadastro de coordenadas prevendo inclusive um critério de qualidade métrica, quando estabeleceu que nos casos de desmembramento, parcelamento ou remembramento e em todos os autos judiciais que versem sobre imóveis rurais, a identificação do imóvel “*será obtida a partir de memorial descritivo, 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 fixada pelo INCRA*”.(grifo do autor)

A inclusão no texto da Lei de dispositivos caracterizando o cadastro de coordenadas e a necessidade de se definir uma precisão posicional, foram propostas oriundas das discussões conjuntas do Grupo de Trabalho em Cadastro da UFSC, do Grupo de Geodésia e Topografia da UFSC, e do Grupo de Cadastro da UFPE, e defendidas no GT-CNIR pelos representantes do IRIB.

3.4 Qualidade posicional no levantamento cadastral

A qualidade posicional de um levantamento cadastral das coordenadas dos pontos que definem os limites da parcela territorial consiste num indicador da confiabilidade estatística da determinação da posição desses pontos. A aplicação de padrões de qualidade posicional no levantamento cadastral é necessária para:

- a) Garantir a inequívoca caracterização espacial das parcelas territoriais, assegurando que o tamanho e forma atual da parcela sobre o terreno sejam à mesma daquela representada pelo levantamento;

- b) Controlar as precisões com que as posições dos pontos de limites da parcela são fixadas em relação a cada outro, em relação aos pontos que foram usados como testemunhas, bem como em relação aos pontos da rede de referência;
- c) Facilitar o eficiente restabelecimento e reintegração das posições de pontos de limites de parcelas.

3.4.1 Conceitos estatísticos de qualidade posicional

Nesta pesquisa foram adotados os seguintes conceitos estatísticos relacionados à qualidade posicional dos levantamentos geodésicos (Gemael, 1994; Wolf & Ghilani, 1997):

- a) **Tolerância posicional** que consiste no erro máximo aceitável na posição de qualquer ponto de um levantamento.
- b) **Precisão posicional absoluta** que representa a proximidade das coordenadas dos pontos de um levantamento, oriundas do processo de observações e cálculos, em relação aos valores reais ou valores aceitos como reais considerando os pontos da rede de referência adotada pelo levantamento. Corresponde à elipse de erro pontual ou elipse de confiança pontual calculada no ajustamento.
- c) **Precisão posicional relativa** entre dois pontos de um levantamento, que se refere à incerteza na posição de um ponto em relação ao outro, e corresponde à elipse de erro relativa ou elipse de confiança relativa calculada no ajustamento.

Outros termos relacionados à qualidade posicional de um levantamento são usados a exemplo de “*exatidão*” ou “*acurácia*” que possuem o mesmo significado. Gemael (1994) esclarece que a precisão está vinculada apenas a efeitos aleatórios, enquanto exatidão ou acurácia vincula-se a efeitos aleatórios e sistemáticos.

3.4.2 Generalidades sobre precisão e exatidão posicionais nas medições cadastrais

Seja um levantamento em que uma rede local de pontos foi usada como referência na medição de pontos de detalhes. No processo de ajustamento são determinadas as coordenadas dos pontos de detalhes e suas respectivas **precisões** posicionais. No entanto, ocorre que os pontos da rede de referência local possuem uma incerteza posicional em relação ao sistema geodésico. Este erro sistemático caracteriza a **exatidão** posicional.

De uma maneira geral, para atender as necessidades dos diversos usuários, os levantamentos cadastrais devem fornecer valores de coordenadas dos pontos limites das parcelas territoriais de forma homogênea (ver item 3.5.1), e com altas precisões e exatidões posicionais. As medições realizadas nos levantamentos cadastrais devem ter precisões e exatidões especificadas e os resultados devem ser obtidos a partir do ajustamento por mínimos quadrados.

No levantamento cadastral, a precisão posicional relativa, em relação aos pontos do próprio levantamento, é necessária para garantir as características geométricas das parcelas territoriais. Portanto, a precisão posicional relativa relaciona-se com todos os aspectos intrínsecos à parcela territorial - dimensões, áreas, confrontantes, segurança jurídica, avaliação econômica, etc.

Por outro lado, a precisão posicional absoluta, em relação aos pontos da rede de referência cadastral, ou a exatidão posicional, em relação ao sistema de referência geodésico, são necessárias para as atividades de gerenciamento territorial, principalmente se o sistema cadastral estiver integrado a um sistema de informações territoriais. A precisão posicional absoluta garante em termos locais, e a exatidão posicional em termos nacionais, a uniformidade da descrição geométrica do conjunto das parcelas, evitando a superposição e os vazios entre parcelas adjacentes, e possibilitando o uso multifinalitário dos dados do cadastro.

Quando a rede de referência cadastral estiver ajustada em relação ao sistema geodésico nacional, a precisão posicional absoluta coincide com a exatidão

posicional. Analisando a realidade do sistema cadastral brasileiro, verificam-se deficiências na densificação do sistema geodésico brasileiro conforme pode ser verificado em www.ibge.gov.br, e até mesmo a inexistência de redes de referências cadastrais para cobrir todo o território.

No Brasil, as medições cadastrais, quando realizadas, são desenvolvidas por projetos isolados, não conectados entre si. Nesses casos, normalmente, nas áreas urbanas, cada município estabelece procedimentos de medição próprios e constituem sua rede de referência cadastral nem sempre amarrada ao sistema geodésico brasileiro. Mesmo nas áreas rurais os levantamentos cadastrais são realizados por projetos, em áreas específicas, abrangendo partes ou a totalidade de um ou mais municípios, constituindo-se em verdadeiras “ilhas cadastrais”.

Essa realidade constitui-se em problemas de qualidade posicional que aparecem quando for necessário realizar a conexão entre as medições cadastrais de cada município ou de cada “ilha cadastral” dos vários projetos específicos de cadastro no Brasil e suas relações com o sistema geodésico brasileiro. Essa é uma questão típica de exatidão posicional do cadastro que não foi avaliada nesta pesquisa.

3.4.3 Generalidades sobre tolerância posicional nas medições cadastrais

No processo de medição, inicialmente deve-se definir a tolerância posicional necessária para atender as finalidades do levantamento. A partir daí é que se devem estabelecer os métodos de levantamento, o nível de densificação da rede de referência e os critérios de qualidade das observações (precisão das medidas) de modo a ser possível obter uma precisão posicional que atenda a tolerância especificada.

As principais variáveis que podem influenciar na definição da tolerância posicional de um levantamento cadastral são: as necessidades dos usuários, o desenvolvimento da região, o valor do imóvel, a densidade de ocupação, a

existência de conflitos de terras, a extensão e configuração geométrica dos imóveis. Esses aspectos foram discutidos por Brandão et al (2001). Verifica-se, portanto, que a definição de valores para a tolerância posicional para o cadastro envolve variáveis objetivas e subjetivas, o que dificulta o estabelecimento desses valores para satisfazer a todas as necessidades.

Birrell et al (1995) salientam que a tecnologia atualmente disponível possibilita a determinação dos limites de parcelas territoriais com uma precisão posicional em torno de 5mm, mas que dificilmente há necessidade de tal precisão, uma vez que a demarcação das parcelas é feita com marcas de dimensões entre 5 e 20cm. Kraus (*apud* Detrekoi, 1999) apresenta uma tabela de incertezas posicionais na definição de feições no campo, onde consta valores de referência entre 7 e 12 cm para os limites de parcelas e cantos de edificações. Para Blachut et al (1979) a precisão posicional do cadastro de áreas urbanas deve ser na ordem de ± 3 cm a ± 4 cm.

O valor correspondente à tolerância posicional adotado no levantamento cadastral varia em cada país. Alguns países definem normas técnicas de tolerância posicional para o cadastro, estabelecendo normalmente valores diferenciados em função da densidade de ocupação territorial. Para se ter uma noção comparativa verificou-se alguns exemplos internacionais, conforme apresentado na Tabela 1.

As tolerâncias posicionais citadas na Tabela 1 foram obtidas em diversas fontes. Na Suíça foi especificada no Estatuto Civil de 1912. No Canadá foi apresentada por McLaughlin (1977) e válida para algumas províncias. Na Holanda foi especificada por “Cadastre and Public Registers Agency of the Netherlands” e apresentado em (Salzmann et al, 1997). Nos Estados Unidos foi especificado por “Minimum Standard Detail Requirements for ALTA / ACSM Land Title Surveys” (ALTA/ACSM, 1999), sendo que a norma de 1997 constava de quatro classes de levantamento e a de 1999 apenas uma. Em Israel, segundo Steinberg (2001) – “Deputy Director for Geodesy and Cadastral Surveys”, a tolerância posicional do cadastro atual é bastante heterogênea, mas no projeto de Cadastro digital a ser

implementado em todo o país até 2010 pretende-se obter uma precisão posicional homogênea de 5cm.

PAÍS	TOLERÂNCIA POSICIONAL		
Canadá (algumas províncias)	Áreas de grande exploração e alto preço	6 cm	Exatidão posicional
	Áreas de média exploração	10 cm	
	Áreas agrícolas	16 cm	
	Áreas de montanhas, pastos e florestas	40 cm	
USA – 1997	Áreas urbanas	2 cm + 50ppm	Precisão posicional relativa
	Áreas suburbanas	4 cm + 100ppm	
	Áreas rurais	8 cm + 200ppm	
	Áreas de pântanos e montanhas	20 cm + 200ppm	
USA – 1999	Para todo o país	2 cm + 50ppm	
Holanda	Áreas rurais	40√2 cm (56,6 cm)	Precisão posicional absoluta
	Áreas urbanas	20√2 cm (28,3 cm)	
	Áreas urbanas especiais com medições de campo	6√2 cm (8,5 cm)	
Israel	Projeto de cadastro para todo o país	5 cm	Exatidão posicional
Suíça	Áreas urbanas	3 cm	Exatidão posicional
	Áreas suburbanas	9 cm	
	Áreas rurais	30 a 60 cm	

Tabela 1 – Exemplos de tolerância posicional do levantamento cadastral

A tolerância posicional do levantamento cadastral não deve ser um valor abstrato relacionada aos métodos de levantamentos ou ao rendimento operacional de modernos instrumentos de medição, mas deve refletir objetivamente as condições e necessidades locais dos usuários do cadastro. Na bibliografia consultada, não foram demonstrados os procedimentos e critérios usados para definir os valores de tolerâncias posicionais dos sistemas cadastrais apresentados na Tabela 1.

O critério estabelecido nesta pesquisa para definir valores de tolerância posicional nas medições cadastrais no Brasil foi discutido e apresentado no item 4.2. A proposta desenvolvida foi baseada em exigências da legislação brasileira. Partiu-se da premissa de que a qualidade posicional do sistema cadastral brasileiro deve satisfazer a legislação que estabeleceu as dimensões mínimas para o parcelamento do solo em imóveis rurais (BRASIL, 1964; INCRA, 1997) e em imóveis urbanos (BRASIL, 1979) de modo a sua caracterização geodésica não deve contrariar a exigência do Código Civil brasileiro (BRASIL, 2002) que estabeleceu um erro máximo de 5% na determinação da extensão de um imóvel nos contratos de compra e venda.

3.4.4 Procedimentos usados no Brasil para avaliação da qualidade métrica do levantamento cadastral

No Brasil, tradicionalmente, não se aplicam procedimentos para avaliar a qualidade posicional das medições cadastrais. Normalmente, o parâmetro usado nessa avaliação consiste em estabelecer o valor de terreno correspondente ao erro gráfico relacionado à escala de representação das plantas cadastrais. Assim, considerando o erro gráfico de $\pm 0,2\text{mm}$, os correspondentes valores de terreno para as mais usuais escalas de representação das plantas cadastrais são, em áreas urbanas de $\pm 0,2\text{m}$ para a escala 1/1000 e de $\pm 0,4\text{m}$ para a escala 1/2000, e em áreas rurais de $\pm 1,0\text{m}$ para a escala 1/5000 a $\pm 4,0\text{m}$ para a escala 1/20000.

Convém salientar que esse procedimento não consiste em uma forma de avaliação da qualidade posicional do levantamento cadastral, pois não é considerada a qualidade métrica das medições de campo ou a determinação de parâmetros estatísticos para caracterizar essa qualidade. Mesmo nos casos em que é realizada uma avaliação da qualidade geométrica da planta cadastral, deve-se levar em conta que essa avaliação é baseada numa amostra. Rocha (2002) sistematizou os procedimentos de avaliação geométrica de cartas topográficas planimétricas urbanas bem como apresentou uma proposta de avaliação para cartas digitais.

Recentemente duas normas foram aprovadas no sentido de melhor qualificar as medições cadastrais no Brasil:

- a) A NBR 14645-1 – Elaboração do “como construído” (*as built*) para edificações – Parte 1: Levantamento planialtimétrico e cadastral de imóveis urbanizado com área de até 25000 m², para fins de estudos, projetos e edificação. Procedimentos (ABNT, 2001). Para a aceitação ou rejeição a ser realizada no levantamento topográfico, no âmbito dessa norma, foi estabelecido que
 - a máxima diferença admitida na medida horizontal entre duas coordenadas representativas de um lado do perímetro do terreno e a sua

medida obtida diretamente deverá atender a tolerância mínima de 0,24m, obtida pela expressão seguinte:

$$T = 0,006\sqrt{L}$$

onde:

T é a tolerância em metros

L é o comprimento do lado em metros

- b) A Lei 10.267 / 2001 e a correspondente regulamentação, o Decreto 4449 / 2002, que estabeleceu a necessidade de determinar “*as coordenadas dos vértices definidores dos limites dos imóveis rurais, georreferenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro e com **precisão posicional** a ser fixada pelo INCRA*”.

A precisão posicional exigida na Lei 10.267 / 2001 foi definida pela Portaria INCRA nº 954 de 13/11/2002:

Art. 1º Estabelecer que o indicador da precisão posicional a ser atingido na determinação de cada par de coordenadas, relativas 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.

A precisão posicional de ± 50 cm, ou melhor, foi resultado das discussões dentro da comissão de elaboração do Decreto de regulamentação da referida Lei. O documento “Normas Técnicas para Levantamentos Topográficos do INCRA” (INCRA, 2001), já tinha estabelecido esse padrão de “acurácia” posicional de ± 50 cm para o levantamento cadastral de imóveis rurais, no entanto não incorporou determinados requisitos necessários para melhor qualificar o levantamento cadastral considerando a nova forma de definir os limites dos imóveis rurais estabelecida pela Lei 10.267/ 2001. Dentre esses requisitos não contemplados nas Normas do INCRA, destacam-se principalmente:

- a) A exigência de que pontos que definem limites e que sejam comuns a dois ou mais imóveis tenham a mesma coordenada, garantindo assim a consistência do levantamento cadastral;

- b) A exigência de realizar o levantamento cadastral dos pontos que definem os limites dos imóveis com medições de controle (ver itens 3.5.2 e 4.3.1) e ajustamento pelo método dos mínimos quadrados (ver ítem 4.4). A Norma vigente (INCRA, 2001) não exige medições de controle nos levantamentos por GPS. Por outro lado, recomenda sem exigir o ajustamento pelo MMQ, e admite o cálculo de compensação de poligonais;
- c) O estabelecimento de que todos os elementos geométricos necessários para caracterizar geodesicamente o imóvel - distâncias, direções, áreas - devem ser determinados a partir das coordenadas dos pontos envolvidos, incluindo o cálculo dos respectivos indicadores estatísticos de qualidade;
- d) A determinação da qualidade métrica do cálculo da área do imóvel considerando a propagação dos erros das coordenadas e a influência da configuração geométrica do imóvel.

3.5 Princípio da Vizinhança no levantamento cadastral

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.

Esta pesquisa propõe a adoção do Princípio da Vizinhança no levantamento cadastral das coordenadas dos pontos de limites de parcelas. Isso significa dizer que as medições cadastrais devem ser conduzidas com observações de controle e que deve ser realizado um ajustamento conjunto entre os pontos da rede de referência e os pontos que definem os limites das parcelas (pontos de detalhes). Esses aspectos foram discutidos no item 3.5.

No Capítulo 4 são estabelecidos critérios técnicos para o levantamento cadastral no Brasil com base no Princípio da Vizinhança. A regra básica para o levantamento cadastral desenvolvido nesta pesquisa, 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.

3.5.1 Homogeneidade do levantamento cadastral

A aplicação do Princípio da Vizinhança no levantamento cadastral garante a homogeneidade das coordenadas dos pontos que definem os limites das parcelas territoriais. Isso significa dizer que os pontos do levantamento apresentam as mesmas tensões geométricas. Para tanto o resultado do ajustamento deve fornecer valores de coordenadas com precisões posicionais que sejam estatisticamente suficientes para garantir num determinado nível de confiança que a tolerância posicional especificada seja obtida.

Segundo a teoria dos erros, com base na distribuição de probabilidade da função normal, se num levantamento a precisão posicional de um ponto for igual à tolerância especificada a probabilidade da precisão posicional ser menor que a tolerância é de 68,3%, o que significa 1 chance em 3 da medição ser rejeitada. Normalmente, no levantamento cadastral, a precisão posicional de um levantamento deve ter uma qualidade de no mínimo três vezes melhor que a tolerância especificada. Para o caso da precisão posicional ser igual à metade da tolerância essa probabilidade passa para 95,5% ou 1 chance em 22 para ser rejeitada. Se a precisão posicional for 1/3 da tolerância, a probabilidade é de 99,7% ou 1 chance em 370 da medição ser rejeitada.

Os indicadores estatísticos das precisões posicionais dos pontos de um levantamento podem ser representados por elipses de confiança (ver item 4.4.4). Um levantamento é chamado de isotrópico quando as elipses de confiança se

degeneram em círculos. Nesse caso os pontos do levantamento apresentam erros posicionais uniformes em todas as direções. Essa é a situação desejável para o levantamento cadastral. No entanto um levantamento isotrópico somente acontece em teoria. Na prática do levantamento cadastral busca-se a homogeneidade. A homogeneidade dos resultados dentro dos limites definidos pela tolerância posicional especificada pode ser avaliada *a priori*, antes da execução do levantamento, através de técnicas de simulação e otimização (ver item 5.1).

3.5.2 Condições para aplicação do Princípio da Vizinhança no levantamento cadastral

O Princípio da Vizinhança no levantamento cadastral é aplicado quando todas as estremas (linhas de limites) das parcelas territoriais são medidas de forma a ser possível a determinação da precisão posicional dos pontos que definem cada estrema. Para tanto, o levantamento cadastral deve ser conduzido considerando as seguintes necessidades:

- a) medições cadastrais com repetição das observações para possibilitar a determinação da precisão de cada elemento medido em campo;
- b) medições cadastrais com observações de controle, ou seja, cada ponto de detalhe (limite de parcela) deve ser medido, pelo menos por duas formas distintas;
- c) ajustamento conjunto entre os pontos da rede de referência e os pontos de detalhes (pontos que definem limites de parcelas), incluindo as medições de controle.

O levantamento cadastral com medições de controle pode ser realizado de várias maneiras. Algumas dessas possibilidades relacionadas aos métodos clássicos de levantamentos terrestres - alinhamento, ortogonal e polar - são discutidas e apresentadas nos itens 4.3.2, 4.3.3 e 4.3.4. Como regra básica, esse procedimento exige o estabelecimento de uma condição geométrica para a medição de cada ponto que define os limites de parcelas territoriais, conforme explicitado no item 4.3.1.

O ajustamento cadastral do conjunto dos pontos de referência e dos pontos de limites de parcelas é necessário para homogeneizar os resultados do levantamento. O ajustamento tem por objetivos (Gemael, 1994):

- a) estimar um valor único para cada um dos parâmetros do problema, mediante a aplicação de modelos matemáticos adequados e do método dos mínimos quadrados (MMQ);
- b) estimar a precisão de tais parâmetros e a eventual correlação entre elas.

O MMQ é o método de ajustamento mais usado para o processamento de observações geodésicas. O uso do MMQ garante uma padronização no processamento dos dados do levantamento cadastral. Com o MMQ, evita-se a utilização de critérios não recomendados nos levantamentos cadastrais, como por exemplo, a adoção de parâmetros globais de qualidade do levantamento, ou mesmo um valor para a qualidade posicional estimada ou nominal em função do método ou equipamento usado no levantamento. O MMQ nas medições cadastrais é apresentado no item 4.4 e aplicado no exemplo mostrado no item 5.3.

3.5.3 Vantagens do Princípio da Vizinhança no levantamento cadastral

As principais vantagens decorrentes da aplicação do Princípio da Vizinhança no levantamento cadastral são:

- a) garantia de homogeneidade do levantamento cadastral, que ocorre quando os valores das posições dos pontos de limites de parcelas são determinados com precisões posicionais que garantem estatisticamente que a tolerância posicional pré-definida tenha sido atingida;
- b) proporciona maior confiabilidade na caracterização geodésica da parcela territorial, representando-a de forma mais próxima do real, minimizando-se as incertezas relacionadas aos limites de parcelas (estremas) que são determinados com precisões posicionais compatíveis com uma tolerância pré-

definida, comprovada estatisticamente e, portanto, passíveis de confrontações e confirmações;

- c) possibilita a consistência do levantamento cadastral que ocorre quando pontos comuns a duas ou mais parcelas apresentam o mesmo valor de posição, e com isso evita-se a repetição da medição dos pontos de limites (estremas) já determinados;
- d) possibilita um aperfeiçoamento no cálculo de áreas das parcelas, através da determinação de um indicador estatístico da qualidade da área, que é obtido a partir da propagação dos erros decorrentes da qualidade posicional dos pontos de limites e da configuração geométrica da parcela (ver item 4.5);
- e) possibilita um aperfeiçoamento no processo de re-locação (avivenciação) de limites

4 CRITÉRIOS TÉCNICOS PARA AS MEDIÇÕES CADASTRAIS NO BRASIL

As finalidades deste Capítulo são discutir a necessidade de uma padronização mínima de determinados aspectos geodésicos do levantamento cadastral (item 4.1), estabelecer um critério e determinar os valores de tolerância posicional para as medições cadastrais no Brasil (item 4.2), discutir e apresentar os métodos terrestres de levantamento cadastral (item 4.3), discutir e apresentar o modelo de ajustamento das medições cadastrais (item 4.4), e apresentar o modelo de cálculo da área superficial da parcela territorial estabelecendo a sua qualidade métrica (item 4.5).

4.1 Padronização de aspectos geodésicos do levantamento cadastral

A padronização de procedimentos na execução do levantamento cadastral é importante para:

- a) Possibilitar o compartilhamento das informações do levantamento cadastral entre os diversos usuários;
- b) Possibilitar a comparação entre projetos de levantamento cadastral distintos;
- c) Possibilitar a integração entre projetos de levantamento cadastral distintos;
- d) Proporcionar um aumento dos benefícios e uma diminuição dos custos dos levantamentos cadastrais;
- e) Proporcionar uma maior eficiência no gerenciamento territorial.

Os principais aspectos passíveis de padronização para serem incorporados a um moderno sistema de cadastro referem-se aos procedimentos técnicos das medições cadastrais, aos procedimentos de atualização das informações cadastrais, e às formas de gerenciamento do sistema cadastral incluindo aspectos de legislação e recursos humanos envolvidos. Nesta pesquisa foram abordados somente determinados aspectos dos procedimentos técnicos das medições cadastrais.

Os principais aspectos geodésicos inerentes ao levantamento cadastral referem-se à tolerância posicional, ao croquis de medição, aos equipamentos e precisões das observações, ao sistema de referência cadastral, aos métodos de medições, ao modelo de ajustamento, ao cálculo da área, e aos procedimentos para atualização. Dentre esses foram avaliados nesta pesquisa: a tolerância posicional dos pontos que definem os limites de parcelas (item 4.2), os métodos terrestres de medições sistemáticas das parcelas (item 4.3), o modelo de ajustamento cadastral usando o método dos mínimos quadrados (item 4.4), e o cálculo da área superficial com a correspondente avaliação qualitativa (item 4.5).

No que se refere ao **croquis de medição** cadastral, Hasenack (2000) apresentou uma proposta de padronização técnica empregando simbologia e formulário próprios para a sua confecção. O objetivo desse trabalho foi estabelecer que o original de um levantamento cadastral deve ser o croquis e a caderneta de campo.

Quanto ao **sistema de referência cadastral**, a Fundação IBGE (1998) recomenda que todos os levantamentos geodésicos e topográficos sejam amarrados ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Da mesma forma, a ABNT (1998) recomenda essa amarração para os levantamentos cadastrais. Sabe-se, no entanto, que a densidade dos pontos que constituem o Sistema Geodésico Brasileiro é insuficiente conforme pode ser verificado em www.ibge.gov.br no link “geociências – geodésia”. Portanto, torna-se necessário implantar em todo o país, redes de referência a nível cadastral amarradas ao SGB.

Um outro aspecto a ser levando em consideração refere-se à mudança do referencial geodésico no Brasil, que passará a ser geocêntrico e não mais topocêntrico como o atual. O novo sistema, denominado SIRGAS – Sistema de Referência Geodésica para as Américas – será implantado no Brasil a partir de 2004. Segundo o IBGE nos primeiros anos de implantação do SIRGAS ocorrerá um período de transição, com o uso dos dois sistemas, topocêntrico e geocêntrico. As implicações dessa mudança nas medições cadastrais não foram avaliadas nesta pesquisa.

Um sistema cadastral baseado em coordenadas como proposto nesta pesquisa, exige o estabelecimento de um sistema de referência. A elaboração de normas para a implantação de Redes de Referências Cadastrais ligadas ao SGB e a obrigatoriedade de que todos os levantamentos cadastrais sejam amarrados à mesma, e os seus resultados apresentados em coordenadas com as correspondentes precisões posicionais, proporcionará confiabilidade ao sistema. Para o sistema cadastral brasileiro, essas exigências são importantes para identificar superposições e lacunas entre os imóveis, bem como proporcionar o uso multifinalitário do cadastro.

Quanto à forma de **atualização** do cadastro, a solução desejável consiste em estabelecer uma sistemática de modo a manter o sistema representando sempre a situação real. Para tanto, a atualização contínua é necessária, principalmente se as informações cadastrais forem usadas em aplicações multifinalitárias. Atualmente, os avanços da informática nos processos de coleta, processamento e representação de informações espaciais, proporcionam uma maior facilidade na atualização do cadastro.

4.2 Tolerância posicional do levantamento cadastral

Conforme discutido no item 3.4.3, o valor da tolerância posicional no levantamento cadastral depende de fatores objetivos e subjetivos, e deve ser estabelecido de forma a não comprometer as necessidades de identificação inequívoca das parcelas territoriais. Nesta pesquisa, considerou-se que a tolerância posicional consiste no erro máximo aceitável para as coordenadas dos pontos que definem os limites (estremas) de parcelas territoriais obtidas no processo de medição e ajustamento e, portanto relaciona-se com a precisão posicional absoluta do levantamento cadastral.

O critério estabelecido nesta pesquisa para definir valores de tolerância posicional nas medições cadastrais no Brasil foi baseado em exigências da legislação.

Partiu-se da premissa de que a qualidade posicional do sistema cadastral brasileiro não deve contrariar a exigência do Código Civil brasileiro (BRASIL, 2002) que estabeleceu um erro máximo de 5% (1/20) na determinação da extensão ou área de um imóvel nos contratos de compra e venda.

O erro máximo de um vigésimo ou de 5% na determinação da extensão ou área de um imóvel nos contratos de compra e venda foi inicialmente estabelecido no Código Civil Brasileiro de 1916 – Lei 3.071, de 01/01/1916 (BRASIL, 1916). Esse dispositivo foi mantido no Novo Código Civil - Lei 10.406, de 10/01/2002 em vigor a partir de 10/01/2003, que estabeleceu (BRASIL, 2002):

Art. 500. Se, na venda de um imóvel, se estipular o preço por medida de extensão, ou se determinar a respectiva área, e esta não corresponder, em qualquer dos casos, às dimensões dadas, o comprador terá o direito de exigir o complemento da área, e, não sendo isso possível, o de reclamar a resolução do contrato ou abatimento proporcional ao preço.

§ 1º Presume-se que a referência às dimensões foi simplesmente enunciativa, quando a diferença encontrada não exceder de um vigésimo da área total enunciada, ressalvado ao comprador o direito de provar que, em tais circunstâncias, não teria realizado o negócio.

Considerou-se como pressuposto que o sistema cadastral deve caracterizar geodesicamente as parcelas territoriais com uma qualidade posicional suficiente a não comprometer o critério de tolerância posicional quando for necessário desmembrar ou dividir uma parcela para constituir outras. Portanto, os valores de tolerância posicionais foram determinados considerando também a legislação que estabeleceu as dimensões mínimas exigidas para o parcelamento do solo no Brasil. Assim, propõe-se que as parcelas territoriais sejam determinadas com uma precisão posicional tal que não comprometa a tolerância pré-definida, mesmo quando for necessário desmembrar ou dividir as parcelas até o limite das dimensões mínimas exigidas pela legislação.

Neste trabalho, o cálculo da tolerância posicional teve por base a influência do erro de 5% da área da parcela de dimensão mínima na incerteza linear do perímetro correspondente. Ou seja, calculou-se o quanto de incerteza posicional

máxima (tolerância posicional) seria necessário para gerar um erro de 5% na área da parcela de dimensão mínima. Essa quantidade foi calculada a partir da expressão (4.2) desenvolvida nesta pesquisa, que considera a relação entre as grandezas de área e perímetro de uma parcela territorial e suas correspondentes incertezas. O valor da tolerância posicional foi então calculado pela expressão:

$$TP = \pm \frac{\varepsilon S \cdot S_{\min}}{2p} \quad (4.2)$$

onde,

TP é a tolerância posicional em metros;

εS é a incerteza máxima relativa permitida na área da parcela em valor percentual;

S_{\min} é a área da parcela de dimensões mínimas em metros quadrados;

$2p$ é o perímetro correspondente à parcela de dimensões mínimas em metros.

Na expressão (4.2), a tolerância posicional (TP) representa a incerteza linear que, quando aplicado ao longo do perímetro de uma parcela, corresponde à incerteza da área superficial dessa parcela. A Figura 3 esclarece a questão.

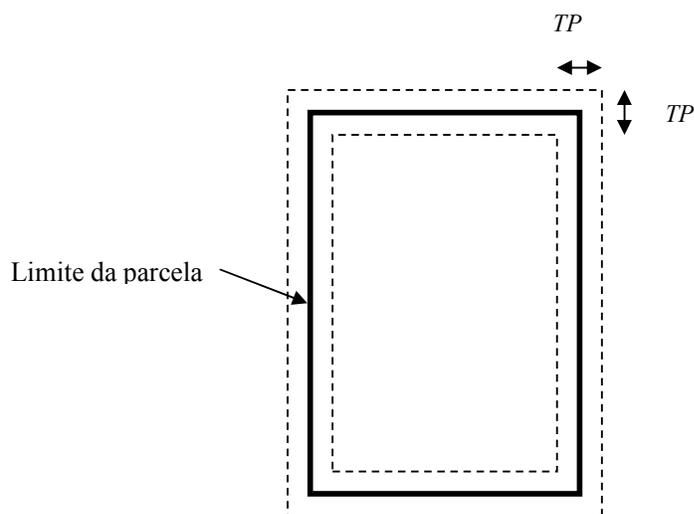


Figura 3 – influência da tolerância posicional na incerteza da área superficial

Como a legislação brasileira estabelece as dimensões mínimas do parcelamento do solo de forma diferente nos imóveis situados em áreas urbanas e rurais, então diferentes valores de tolerância posicional foram determinados. A tolerância

posicional das medições cadastrais em áreas rurais foi estabelecida no item 4.2.1. A tolerância posicional das medições cadastrais em áreas urbanas foi estabelecida no item 4.2.2.

Outros critérios para definir valores de tolerância posicional podem ser usados, mas não devem comprometer o que foi adotado por ser uma exigência legal. Assim devido à diversidade existente na ocupação do território brasileiro, em determinadas áreas podem-se exigir valores de tolerância posicional mais rigorosos, considerando o tamanho e forma geométrica das parcelas, o nível de exploração e potencial econômico, o valor da terra, etc.

4.2.1 Tolerância posicional das medições cadastrais em áreas rurais

Pelo critério adotado, para determinar o valor da tolerância posicional das medições cadastrais em áreas rurais foi necessário especificar a dimensão mínima do imóvel rural no Brasil. O Art. 8º da Lei 5.868 / 1972 (BRASIL, 1972), instituiu a Fração Mínima de Parcelamento (FMP) como sendo a área mínima permitida no desmembramento de um imóvel rural para a constituição de uma nova unidade agrícola. A FMP corresponde ao módulo de exploração hortigranjeira do município de localização do imóvel rural, regulamentado pelo INCRA.

De acordo com a IE / INCRA 05-a de 06/06/1973, os valores da FMP variavam de acordo com o município brasileiro entre 2 e 5ha. Esses valores foram atualizados e através da Portaria INCRA 36 de 26/08/1997 foi aprovada a Instrução Especial IE / INCRA 50 de 26/08/1997 que estendeu o valor da FMP das Capitais para os demais municípios dos respectivos Estados. Com isso, os valores da FMP passaram a ser de 3ha nos municípios dos estados do Acre, Roraima e Amapá, e de 2ha nos municípios dos demais estados.

Para fins desta pesquisa, considerou-se então 2ha como a dimensão mínima dos imóveis rurais no Brasil. Para efeito do cálculo da tolerância posicional admitiu-se

que o imóvel de dimensões mínimas possui forma geométrica regular (quadrado), não levando-se em conta a influência da configuração geométrica do imóvel. O valor da tolerância posicional “*TP*” das medições cadastrais em áreas rurais foi então obtido pela expressão (4.2), aqui repetida:

$$TP = \pm \frac{\varepsilon S \cdot S_{\min}}{2p} \quad (4.2)$$

sendo,

$$\varepsilon S = 5\%$$

o erro máximo relativo permitido na área da parcela de acordo com o Código Civil Brasileiro.

$$S_{\min} = 20.000 \text{ m}^2$$

a área mínima de imóvel rural no Brasil permitida por Lei

$$2p = 565,7\text{m}$$

o perímetro correspondente ao imóvel de dimensões mínimas e forma geométrica regular (quadrado)

resultando então,

$$TP = \pm 1,77\text{m}$$

o valor da tolerância posicional das coordenadas dos pontos que definem os limites de parcelas territoriais em áreas rurais no Brasil.

Segundo a teoria dos erros, no processo de medição a precisão posicional resultante advinda do ajustamento deve ter uma qualidade de no mínimo 3x melhor que a tolerância especificada para garantir um nível de confiança de 99,7% (ver item 3.5.1). Então a precisão posicional do levantamento cadastral de parcelas territoriais em áreas rurais deve ser de **±0,59m**, ou melhor. Verifica-se, portanto que a precisão posicional de ±50cm dos levantamentos cadastrais de

imóveis rurais estabelecida pela Lei 10.267 / 2001 através da Portaria INCRA 954 / 2002, atende ao critério usado por esta pesquisa.

4.2.2 Tolerância posicional das medições cadastrais em áreas urbanas

Pelo critério adotado, para determinar o valor da tolerância posicional das medições cadastrais em áreas urbanas foi necessário especificar a dimensão mínima admitida para um imóvel localizado em área urbana no Brasil. A Lei 6.766 / 1979 (BRASIL, 1979) que dispõe sobre o parcelamento do solo estabeleceu que as dimensões mínimas de um lote em área urbana seriam de 125m² com 5m de frente a uma via de acesso.

Considerando então um lote retangular (5m X 25m) atendendo as exigências legais, calculou-se o valor da tolerância posicional “*TP*” das medições cadastrais em áreas urbana pela mesma expressão (4.2), aqui repetida:

$$TP = \pm \frac{\varepsilon S \cdot S_{min}}{2p} \quad (4.2)$$

sendo,

$$\varepsilon S = 5\%$$

o erro máximo relativo permitido na área do imóvel de acordo com o Código Civil Brasileiro.

$$S_{min} = 125 \text{ m}^2$$

a área mínima de imóvel rural no Brasil permitida por Lei

$$2p = 60,0m$$

o perímetro correspondente ao lote de dimensões mínimas (5m X 25m) com forma geométrica retangular

resultando então,

TP = $\pm 0,10\text{m}$

como sendo o valor da tolerância posicional das coordenadas dos pontos que definem os limites de parcelas territoriais em áreas urbanas no Brasil.

Segundo a teoria dos erros, no processo de medição a precisão posicional resultante advinda do ajustamento deve ter uma qualidade de no mínimo 3x melhor que a tolerância especificada para garantir um nível de confiança de 99,7% (ver item 3.5.1). Então a precisão posicional do levantamento cadastral de parcelas territoriais em áreas urbanas deve ser de **$\pm 0,03\text{m}$** .

4.3 Métodos de levantamentos cadastrais

Para determinar as posições de cada ponto de limite de parcela, aplicam-se as expressões inerentes a cada método de levantamento para a obtenção das respectivas coordenadas. Nesta pesquisa foram analisados os métodos terrestres clássicos de levantamento – alinhamento, ortogonal e polar – nas medições cadastrais. Diversas publicações tratam do assunto, como por exemplo (Blachut at all, 1979). Discutiu-se também o método de levantamento por GPS aplicado às medições cadastrais. Geralmente, num projeto de levantamento cadastral, adota-se uma combinação de métodos, considerando as condições do terreno, o instrumental disponível e o pessoal envolvido.

Não foram avaliados os métodos de levantamento por imagem, apesar da restituição fotogramétrica ser, por exemplo, um método largamente usado no Brasil principalmente nos levantamentos cadastrais em áreas urbanas. No entanto, os critérios estabelecidos nesta pesquisa para os métodos de levantamentos terrestres, podem ser adotados nos levantamentos por imagens. Pressupõe-se, para tanto que sejam determinados valores de precisão posicional através de indicadores estatísticos.

4.3.1 Medições de controle no levantamento cadastral

Nesta pesquisa, adotou-se como princípio básico do levantamento cadastral a realização de **medições de controle**, estabelecendo assim uma condição geométrica para a determinação de cada ponto de limite de parcela territorial. O levantamento cadastral com medições de controle é necessário para:

- a) Eliminar equívocos e erros grosseiros no processo de medição;
- b) Possibilitar a determinação da precisão do levantamento através de um ajustamento da medição cadastral (ver item 4.4).

No levantamento cadastral, o controle da medição pode ser realizado das seguintes maneiras:

- a) medir os mesmos pontos de limites usando um método de levantamento diferente do original;
- b) medir os mesmos pontos de limites usando o mesmo método de levantamento original, porém seguindo um caminho diferente do já usado, ou seja, amarrando o ponto novo a outros pontos do levantamento não usados originalmente;
- c) medir com redundância a distância entre os pontos que definem cada limite.

4.3.2 Levantamento por alinhamento

O método de levantamento por alinhamento é largamente usado nas medições cadastrais. No Brasil, no entanto, esse método bem como o levantamento ortogonal (item 4.3.3) são pouco usados, possivelmente por serem abordados nas principais fontes bibliográficas brasileiras bem como nas instituições de ensino onde são ministrados curso de agrimensura, topografia e afins.

No método por alinhamento cada novo ponto i é determinado estabelecendo uma condição de colinearidade entre dois outros pontos conhecidos cujas coordenadas tenham sido já determinadas. A Figura 4 esclarece o método. O procedimento de campo é simples, e o equipamento necessário consiste em balizas para definir os

alinhamentos e trena para executar as medidas. O cálculo das coordenadas do ponto novo i é realizado através de uma interpolação linear entre os dois pontos 1 e 2 conhecidos, de modo a distribuir as tensões geométricas. As expressões usadas são:

$$Y_i = Y_1 + \frac{Y_2 - Y_1}{S} \cdot s_i \quad (4.3.2.a)$$

$$X_i = X_1 + \frac{X_2 - X_1}{S} \cdot s_i \quad (4.3.2.b)$$

sendo,

Y_i, X_i : as coordenadas do ponto novo i a serem determinadas;

X_1, Y_1 e X_2, Y_2 : as coordenadas dos pontos 1 e 2 conhecidas;

S : a distância medida entre os pontos 1 e 2;

s_i : a distância medida entre os pontos 1 e i .

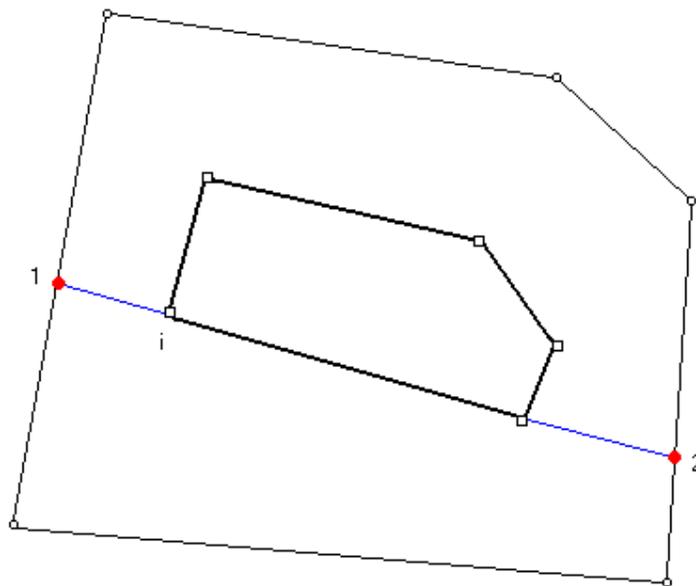


Figura 4 – Método de levantamento por alinhamento

Mais detalhes sobre esse método de medição podem ser consultados em Blachut et al (1979). Hasenack (2000) aplicou esse método nas medições cadastrais realizadas para a dissertação de mestrado na UFSC.

4.3.3 Levantamento ortogonal

Assim como o levantamento por alinhamento, o método de levantamento ortogonal também é muito usado nas medições cadastrais, mas pouco usado no Brasil para essa finalidade. No levantamento ortogonal o ponto novo i não se encontra alinhado entre os pontos 1 e 2 conhecidos, sendo necessário incluir o respectivo afastamento ortogonal. A Figura 5 esclarece o método.

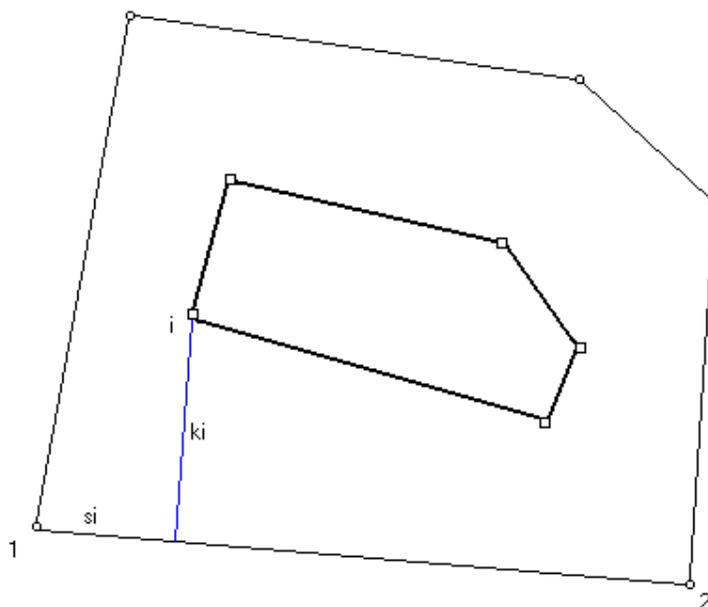


Figura 5 – Método de levantamento ortogonal

Nesse método, o equipamento necessário consiste num prisma para definir a ortogonalidade e trena para realizar as medidas. O cálculo das coordenadas do ponto novo i é realizado através de uma interpolação linear entre os dois pontos 1 e 2 conhecidos, de modo a distribuir as tensões geométricas. As expressões usadas são:

$$Y_i = Y_1 + \frac{Y_2 - Y_1}{S} \cdot s_i + \frac{X_2 - X_1}{S} \cdot k_i \quad (4.3.3.a)$$

$$X_i = X_1 + \frac{X_2 - X_1}{S} \cdot s_i - \frac{Y_2 - Y_1}{S} \cdot k_i \quad (4.3.3.b)$$

sendo,

Y_i, X_i : as coordenadas do ponto novo i a serem determinadas;

X_1, Y_1 e X_2, Y_2 : as coordenadas dos pontos 1 e 2 conhecidas;

S : a distância medida entre os pontos 1 e 2;

s_i : a distância medida entre os pontos 1 e a posição ortogonal de i sobre o alinhamento 1/2;

k_i : a distância medida correspondente ao afastamento ortogonal do ponto i ao alinhamento 1/2.

Mais detalhes sobre esse método de medição podem ser consultados em Blachut at all (1979). Hasenack (2000) aplicou esse método nas medições cadastrais realizadas para a dissertação de mestrado na UFSC.

4.3.4 Levantamento polar

O método de levantamento polar é o mais usado no Brasil nas medições de pontos de detalhes, inclusive para o cadastro. Nesse método, cada ponto novo i é relacionado ou amarrado a um ponto conhecido ou já determinado, através da medição da direção e da distância do alinhamento formado entre o ponto conhecido e cada ponto novo. A Figura 6 esclarece o método.

O cálculo das coordenadas do ponto novo é obtido pelas expressões:

$$Y_i = Y_1 + d \cdot \cos t \quad (4.3.4.a)$$

$$X_i = X_1 + d \cdot \sin t \quad (4.3.4.b)$$

Y_i, X_i : as coordenadas do ponto novo i a serem determinadas;

X_1, Y_1 : as coordenadas do ponto 1 conhecidas;

d : distância do ponto 1 ao ponto i ;

t : azimute do alinhamento formado pelos pontos 1 e i .

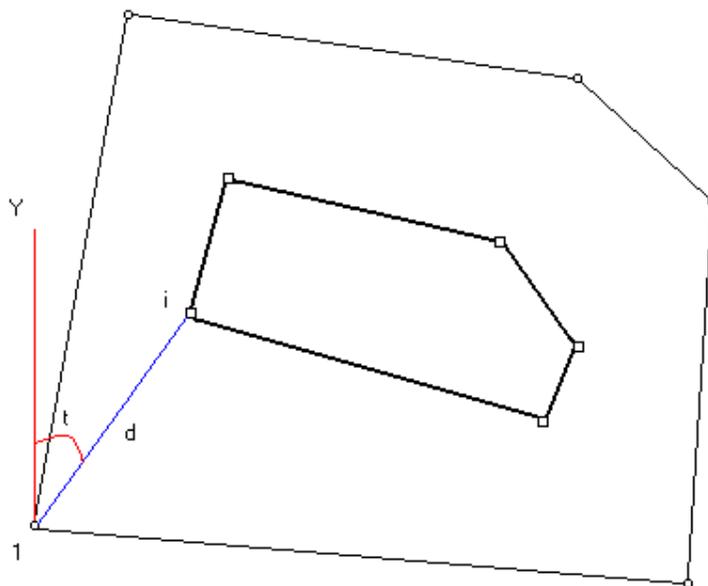


Figura 6 – Método de levantamento polar

Em comparação aos levantamentos por alinhamento (item 4.3.2) e ortogonal (item 4.3.3), a maior vantagem do levantamento polar é a rapidez. No entanto, do ponto de vista da teoria dos erros, esse método apresenta desvantagens, pois ao contrário dos levantamentos por alinhamento e ortogonal, o levantamento polar não distribui as tensões geométricas inerentes ao processo de medições. Para minimizar essa deficiência, é necessário realizar medições de controle, e proceder o ajustamento para verificar a qualidade posicional do levantamento (Philips, 2001).

No levantamento polar, outras possibilidades de medições de controle podem ser usadas além daquelas discutidas no item 4.3.1. Uma condição favorável consiste em fazer com que pontos de limites de parcelas integrem a rede ou poligonais

apoiadas usados como referência do levantamento. Esse procedimento pode ser adotado, por exemplo, no levantamento cadastral em novos loteamentos e parcelamentos. No entanto, nem sempre é possível incluir pontos de limites na rede ou nas poligonais de referência.

Outra possibilidade de controle do levantamento polar consiste em medir cada ponto de limite de parcela a partir de outros pontos de referência distintos daquele usado originalmente, gerando uma interseção. Nesse caso três situações podem ser usadas como medição de controle: com direção e distância, só com direção, e só com distância. A Figura 7 esclarece essas possibilidades.

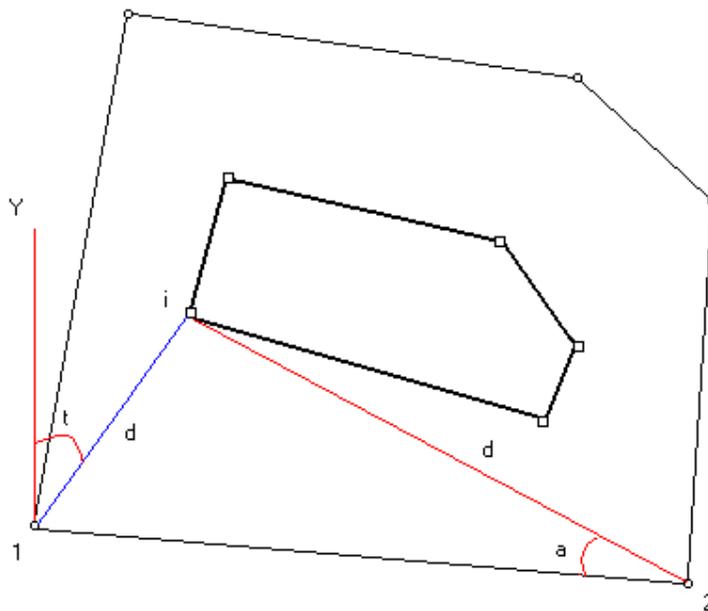


Figura 7 – Medições de controle no levantamento polar

Importante salientar que para verificar a qualidade posicional do levantamento, é necessário realizar o ajustamento considerando todas as medições realizadas inclusive aquelas de controle. No Brasil, não é usual a exigência de medições de controle ou o ajustamento no levantamento de pontos de detalhes. Como exemplo, o documento Normas Técnicas para Levantamentos Topográficos do INCRA - 2001 considera necessário a medição de controle no levantamento

cadastral pelo método polar por taqueometria ou estação total, quando estabeleceu (INCRA, 2001 - item 6 do tópico 2.4.1.1 na pág 33, e item 5 do tópico 2.4.1.2 na pág 34) que a irradiação para definir o ponto de limite de imóvel seja feito a partir de pelo menos duas estações distintas. No entanto, essa Norma não exige o ajustamento por mínimos quadrados.

Tais preocupações e necessidades com relação ao controle estatístico da medição cadastral estão sendo incluídas nas Normas Técnicas de Georreferenciamento de Imóveis Rurais, em elaboração pelo INCRA (2003).

4.3.5 Considerações sobre o levantamento cadastral através de sistemas satelitais

Os posicionamentos através de sistemas satelitais, como o GPS, constituem-se na principal inovação tecnológica no âmbito das medições geodésicas, nas últimas décadas. Nesse tipo de posicionamento, coordenadas de pontos são obtidas a partir da medição de distâncias entre os satélites do sistema aos receptores em terra. Principalmente a partir de 1994, quando o sistema GPS se tornou completo, os posicionamentos por satélites tem sido usados em diversas aplicações, incluindo as medições cadastrais. Desde então, pesquisas vêm sendo desenvolvidas no sentido de se avaliar a qualidade das medições através desse método de posicionamento.

Diversos trabalhos, a exemplo de Yang e Kim (1998), demonstraram que para as medições das redes de referência cadastral, o uso de levantamento por satélite tipo GPS é compatível em termos de precisão posicional aos métodos tradicionais com estação total. No entanto, para as medições dos pontos que definem limites de parcelas, há restrições no uso de sistemas satelitais, principalmente no que diz respeito ao levantamento cadastral em áreas urbanas onde as edificações podem prejudicar a recepção dos sinais dos satélites pelos receptores.

Os sistemas de posicionamentos por satélites apresentam vantagens incomparáveis em relação aos métodos tradicionais de levantamentos em termos

de rendimento. No entanto, nas medições cadastrais, com relação à qualidade posicional do levantamento por satélite, devem ser observadas as mesmas preocupações relacionadas ao Princípio da Vizinhança que foram discutidas nesta tese.

Nesse sentido, Londe (2002) discutindo o documento “*Standard and Guidelines for Cadastral Surveys Using Global Positioning Methods*”, desenvolvido pelo Bureau of Land Management – U.S. Dept of Interior, chama atenção às principais questões necessárias para se obter qualidade posicional nos levantamentos cadastrais por satélites:

- a) amarrar cada ponto de limite de parcela a duas ou mais estações de referência;
- b) realizar múltipla ocupação dos pontos de limites de parcelas;
- c) realizar a análise da configuração (design) dos pontos do levantamento;
- d) realizar o ajustamento do levantamento.

No Brasil, normalmente, tais preocupações não são consideradas nos levantamentos de pontos de detalhes de uma maneira geral usando sistemas satelitais, incluindo aí os pontos que definem limites de parcelas. As Normas Técnicas para Levantamentos Topográficos do INCRA (2001), por exemplo, quando trata dos levantamentos cadastrais através de posicionamentos por GPS, estabelecem somente critérios de precisão e procedimentos para as medições de alinhamentos (linhas de visadas) formados pela estação conhecida aos pontos objetos do levantamento. No entanto, a precisão avaliada em uma linha de visada no posicionamento por GPS corresponde à precisão da observação, e não à precisão posicional do levantamento como um todo. Um levantamento cadastral realizado nessas condições não possibilita a distribuição das tensões geométricas entre os pontos do levantamento, e conseqüentemente a homogeneidade posicional não pode ser avaliada.

O uso do GPS constitui num dos procedimentos previstos para as medições georreferenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro na Norma Técnica de Georreferenciamento de Imóveis Rurais, em elaboração pelo INCRA (2003)

4.4 Modelo de ajustamento do levantamento cadastral – método paramétrico

O método dos mínimos quadrados (MMQ) é o procedimento de ajustamento mais usado para o processamento de observações geodésicas, o que inclui as medições cadastrais. Num sistema de cadastro de coordenadas, as finalidades do ajustamento das medições cadastrais consistem em estimar um valor único para as coordenadas dos pontos que definem os limites de parcelas, bem como estimar a precisão dessas coordenadas e a eventual correlação entre elas.

Para tanto é necessário ajustar as medições cadastrais mediante a aplicação do método dos mínimos quadrados nos modelos matemáticos inerentes aos métodos de levantamento usados, considerando o campo de pontos constituído pelo conjunto dos pontos de referência e pelos pontos que definem os limites de parcelas. O MMQ garante uma padronização no processamento dos dados do levantamento cadastral e é necessário para homogeneizar os resultados do levantamento.

A rigor, no ajustamento de um levantamento, as observações (medições) devem estar isentas de erros grosseiros e sistemáticos. Ou seja, é necessário que as influências resultantes do processo de medição sejam apenas de caráter aleatório ou randômico. Somente depois de se verificar essa condição é que se processa o ajustamento. No entanto, nem sempre é possível eliminar os erros sistemáticos por completo, uma vez que os modelos matemáticos usados para isso consistem de aproximações da realidade.

O procedimento de ajustamento mais adequado para processar as medições cadastrais é o conhecido método paramétrico por variação de coordenadas, que pode ser aplicado em qualquer método de levantamento ou combinação de métodos, sendo apresentado por Gemael (1994), Blachut et al (1979), Dalmolin (2002). Esse método de ajustamento pressupõe o conhecimento das coordenadas aproximadas dos pontos do levantamento e o estabelecimento de equações de

observação. Os parâmetros são as correções às coordenadas aproximadas dos pontos do levantamento. A seqüência do cálculo do ajustamento pelo método paramétrico por variação de coordenadas, em notação matricial, é mostrada a seguir considerando a aplicação no levantamento cadastral.

4.4.1 Modelo funcional do ajustamento paramétrico por variação de coordenadas

O modelo de ajustamento mais usado para a determinação dos parâmetros de um levantamento geodésico é o conhecido método paramétrico por variação de coordenadas (Gemaël, 1994). Nesse modelo cada observação gera uma equação. Assim, numa medição, de uma maneira geral, podemos considerar:

$$L_a = L_b + V \quad (4.4.1.a)$$

L_b : vetor (n x 1) das n observações (medições) de campo;

L_a : vetor (n x 1) das n observações ajustadas;

V : vetor (n x 1) das n resíduos, corresponde à diferença entre as observações ajustadas e as observações de campo.

No ajustamento paramétrico as observações ajustadas são expressas como uma função explícita dos parâmetros ajustados. O modelo matemático é:

$$L_a = F(X_a) \quad (4.4.1.b)$$

ou

$$L_b + V = F(X_a) \quad (4.4.1.c)$$

X_a : vetor (u x 1) dos u parâmetros ajustados, correspondem às coordenadas ajustadas dos pontos do levantamento;

F : função que relaciona L_a a X_a (ver item 4.4.2).

Os parâmetros ajustados X_a podem ser expressos por:

$$X_a = X_0 + X \quad (4.4.1.d)$$

daí,

$$X = X_a - X_0 \quad (4.4.1.e)$$

X_0 : vetor (u x 1) dos u valores aproximados dos parâmetros (coordenadas aproximadas);

X : vetor (u x 1) dos u valores das correções ao vetor X_0 das coordenadas aproximadas para obtenção das coordenadas ajustadas X_a .

Então

$$L_b + V = F(X_0 + X) \quad (4.4.1.f)$$

A solução do sistema de equações gerado pela expressão (4.4.1.f) é obtida para sistemas lineares. Nos levantamentos no âmbito da geodésia, em geral as funções que relacionam as observações aos parâmetros são não lineares. A solução, portanto, requer a linearização do sistema pela série de Taylor, como segue:

$$F(X_a) = F(X_0) + \left. \frac{\partial F}{\partial X_a} \right|_{X_a=X_0} (X_a - X_0) \quad (4.4.1.g)$$

sendo,

$$L_0 = F(X_0) \quad (4.4.1.h)$$

e

$$A = \left. \frac{\partial F}{\partial X_a} \right|_{X_0} \quad (4.4.1.i)$$

Então a expressão (4.4.1.g) fica:

$$L_b + V = L_0 + AX \quad (4.4.1.j)$$

fazendo

$$L = L_0 - L_b \quad (4.4.1.k)$$

então

$$V = AX + L \quad (4.4.1.l)$$

A expressão (4.4.1.l) é conhecida como o modelo funcional do método paramétrico, e consiste num sistema de equações lineares, mas com um número de incógnitas ($n+u$) maior que o número de equações (n). Recorre-se então ao método dos mínimos quadrados (MMQ) para a obtenção da solução única do sistema.

O princípio do MMQ – a soma dos quadrados dos resíduos é mínima - na sua forma completa considerando observações ponderadas (com diferentes precisões) pode ser expresso por:

$$\Phi = V^T P V = \min \quad (4.4.1.m)$$

sendo,

$$P = \sigma_0^2 \Sigma_{L_b}^{-1} \quad (4.4.1.n)$$

P : matriz correspondente aos pesos das observações;

Σ_{L_b} : matriz variância co-variância das observações;

σ_0^2 : variância da unidade de peso a priori, não interfere no cálculo dos parâmetros, podendo ser arbitrada com valor igual a 1.

Daí a expressão (4.4.1.l) fica:

$$(AX + L)^T P(AX + L) = \min \quad (4.4.1.o)$$

Para obter o mínimo da função Φ , a condição é determinar a derivada primeira de Φ em relação aos parâmetros, no caso o vetor X . Ou seja,

$$\frac{\partial \Phi}{\partial X} = \frac{\partial \left((AX + L)^T P(AX + L) \right)}{\partial X} = \frac{\partial(\min)}{\partial X} \quad (4.4.1.p)$$

cuja resolução é

$$2A^T PAX + 2A^T PL = 0 \quad (4.4.1.q)$$

e daí,

$$X = -(A^T PA)^{-1} A^T PL \quad (4.4.1.r)$$

que representa a solução do ajustamento, ou seja, o vetor X estimado constitui-se na correção ao vetor X_0 dos parâmetros aproximados para obtenção dos parâmetros ajustados X_a , através da expressão (4.4.1.d) aqui repetida, que corresponde às coordenadas ajustadas dos pontos do levantamento.

$$X_a = X_0 + X \quad (4.4.1.d)$$

Se as coordenadas aproximadas obtidas de cálculos preliminares diferem consideravelmente dos valores ajustados, o resultado do ajustamento não estará correto. Assim, deve-se repetir o ajustamento com as coordenadas obtidas no primeiro ajustamento como sendo novos valores aproximados. Esse processo iterativo termina quando as correções do ajustamento atingem valores não significativos, que devem ser pré-definidos.

4.4.2 Equações de observação

No modelo funcional do ajustamento paramétrico por variação de coordenadas, cada observação (medição) do levantamento corresponde uma equação de observação, com diferentes aspectos de acordo com a natureza da grandeza observada. Assim, num mesmo ajustamento de um levantamento cadastral podem ocorrer equações relativas a distâncias, direções, ângulos e azimutes. Cada equação de observação possui como incógnitas as correções das coordenadas aproximadas dos pontos envolvidos e as discrepâncias entre os valores observados e calculados a partir das coordenadas aproximadas de cada grandeza observada.

As equações de observações linearizadas por série de Taylor assumem a forma geral:

$$v = \frac{\partial l}{\partial X_1} dX_1 + \frac{\partial l}{\partial Y_1} dY_1 + \dots + \frac{\partial l}{\partial X_k} dX_k + \frac{\partial l}{\partial Y_k} dY_k + l_b - l_0 \quad (4.4.2.a)$$

A **distância** entre os pontos i e j – dois pontos envolvidos, pode ser expressa por:

$$s_{ij} = \sqrt{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2} \quad (4.4.2.b)$$

o que corresponde a equação de observação de distância, linearizada por Taylor:

$$v_s = \frac{X_j - X_i}{s} dX_j + \frac{Y_j - Y_i}{s} dY_j - \frac{X_j - X_i}{s} dX_i - \frac{Y_j - Y_i}{s} dY_i + s_b - s_0 \quad (4.4.2.c)$$

O **azimute** entre os pontos i e j – dois pontos envolvidos, pode ser expresso por:

$$\alpha = \arctan \frac{Y_j - Y_i}{X_j - X_i} \quad (4.4.2.d)$$

o que corresponde a equação de observação de azimute, linearizada por Taylor:

$$v_{\alpha} = \frac{X_j - X_i}{s^2} dY_j - \frac{Y_j - Y_i}{s^2} dX_j - \frac{X_j - X_i}{s^2} dY_i + \frac{Y_j - Y_i}{s^2} dX_i + \alpha_b - \alpha_0 \quad (4.4.2.e)$$

A **direção** do alinhamento formado pelos pontos i e j – dois pontos envolvidos, pode ser expressa por:

$$\delta = \alpha - \omega = \arctan \frac{Y_j - Y_i}{X_j - X_i} - \omega \quad (4.4.2.f)$$

onde,

ω : é o ângulo de orientação da leitura 0 (zero) do círculo horizontal, sendo um parâmetro a mais para cada grupo de direções.

o que corresponde a equação de observação de direção, linearizada por Taylor:

$$v_{\delta} = \frac{X_j - X_i}{s^2} dY_j - \frac{Y_j - Y_i}{s^2} dX_j - \frac{X_j - X_i}{s^2} dY_i + \frac{Y_j - Y_i}{s^2} dX_i - d\omega + \delta_b - \delta_0 \quad (4.4.2.g)$$

O **ângulo** formado por dois alinhamentos ilj e i/k com vértice em i - envolve 3 vértices i, j e k , pode ser expresso por:

$$\beta = \alpha_j - \alpha_k = \arctan \frac{Y_j - Y_i}{X_j - X_i} - \arctan \frac{Y_k - Y_i}{X_k - X_i} \quad (4.4.2.h)$$

o que corresponde a equação de observação de ângulo, linearizada por Taylor:

$$v_{\beta} = \frac{X_j - X_i}{s_j^2} dY_j - \frac{Y_j - Y_i}{s_j^2} dX_j - \frac{X_k - X_i}{s_k^2} dY_k + \frac{Y_k - Y_i}{s_k^2} dX_k + \left(\frac{X_k - X_i}{s_k^2} - \frac{X_j - X_i}{s_j^2} \right) dY_i - \left(\frac{Y_k - Y_i}{s_k^2} - \frac{Y_j - Y_i}{s_j^2} \right) dX_i + \beta_b - \beta_0 \quad (4.4.2.i)$$

4.4.3 Modelo estocástico do ajustamento paramétrico por variação de coordenadas

No ajustamento de um levantamento cadastral, as coordenadas dos pontos que definem os limites de parcelas são obtidas aplicando-se o modelo funcional (equação 4.4.1.1), conforme apresentado no item 4.4.1. Para obter os indicadores de qualidade do levantamento, aplicam-se os modelos estocásticos do ajustamento, apresentados em seguida, considerando uma determinada probabilidade ou nível de confiabilidade, conforme mostrado no item 4.4.4 para a precisão posicional.

O modelo estocástico básico do ajustamento é dado pela conhecida matriz co-fatora $Q=(A^T P A)^{-1}$. A matriz co-fatora e a variância da unidade de peso a posteriori são os elementos determinantes para a obtenção das matrizes variâncias co-variâncias (MVC) das variáveis aleatórias envolvidas no processo – X, X_a, V, L_a (Gemael, 1994).

A **variância da unidade de peso a posteriori** $\hat{\sigma}_0^2$ é obtida através da expressão:

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{V^T P V}{n - u} \quad (4.4.3.a)$$

n : número de observações;

u : número de parâmetros.

À discrepância entre σ_0^2 e $\hat{\sigma}_0^2$, aplica-se um teste de hipótese baseado na distribuição qui-quadrado χ^2 para constatar se a discrepância é significativa a um certo nível de confiança. Se o teste constatar a discrepância, então existem problemas no ajustamento – erros na MVC dos valores observados, erros grosseiros ou sistemáticos nas medições.

A **MVC das correções** (X) é obtida através da expressão:

$$\Sigma_X = \hat{\sigma}_0^2 (A^T P A)^{-1} \quad (4.4.3.b)$$

A **MVC dos parâmetros ajustados** (X_a) é obtida através da mesma expressão da MVC das correções, ou seja:

$$\Sigma_{X_a} = \Sigma_X = \hat{\sigma}_0^2 (A^T P A)^{-1} \quad (4.4.3.c)$$

A **MVC dos valores observados ajustados** (L_a) é obtida através da expressão:

$$\Sigma_{L_a} = \hat{\sigma}_0^2 A (A^T P A)^{-1} A^T \quad (4.4.3.d)$$

A **MVC dos resíduos** (V) é obtida através da expressão:

$$\Sigma_V = \hat{\sigma}_0^2 (A (A^T P A)^{-1} A^T - P^{-1}) \quad (4.4.3.e)$$

4.4.4 Indicadores da precisão posicional

A precisão posicional dos pontos de um levantamento é obtida a partir da matriz variância co-variância (MVC) dos parâmetros ajustados Σ_{X_a} considerando uma determinada probabilidade ou nível de confiabilidade. A MVC dos parâmetros ajustados Σ_{X_a} consiste numa matriz do tipo:

$$\Sigma_{X_a} = \begin{bmatrix} \sigma_{X_1}^2 & \sigma_{X_1 Y_1} & \sigma_{X_1 X_2} & \sigma_{X_1 Y_2} & \dots & \sigma_{X_1 X_n} & \sigma_{X_1 Y_n} \\ \sigma_{X_1 Y_1} & \sigma_{Y_1}^2 & \sigma_{Y_1 X_2} & \sigma_{Y_1 Y_2} & \dots & \sigma_{Y_1 X_n} & \sigma_{Y_1 Y_n} \\ \sigma_{X_1 X_2} & \sigma_{Y_1 X_2} & \sigma_{X_2}^2 & \sigma_{X_2 Y_2} & \dots & \sigma_{X_2 X_n} & \sigma_{X_2 Y_n} \\ \sigma_{X_1 Y_2} & \sigma_{Y_1 Y_2} & \sigma_{X_2 Y_2} & \sigma_{Y_2}^2 & \dots & \sigma_{Y_2 X_n} & \sigma_{Y_2 Y_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sigma_{X_1 X_n} & \sigma_{Y_1 X_n} & \sigma_{X_2 X_n} & \sigma_{Y_2 X_n} & \dots & \sigma_{X_n}^2 & \sigma_{X_n Y_n} \\ \sigma_{X_1 Y_n} & \sigma_{Y_1 Y_n} & \sigma_{X_2 Y_n} & \sigma_{Y_2 Y_n} & \dots & \sigma_{X_n Y_n} & \sigma_{Y_n}^2 \end{bmatrix} \quad (4.4.4.a)$$

onde,

$\sigma_{x_i}^2$: variância da coordenada x de um ponto i;

$\sigma_{y_i}^2$: variância da coordenada y de um ponto i;

$\sigma_{x_i y_i}$, $\sigma_{x_j y_j}$, $\sigma_{x_i y_j}$, $\sigma_{x_j y_i}$, $\sigma_{x_i x_j}$, $\sigma_{y_i y_j}$: covariâncias.

A variância de um valor de coordenada ou de uma observação é uma medida estatística da confiabilidade desse valor. A covariância é uma medida de dependência estatística entre dois valores. No âmbito da geodésia, a covariância pode estar relacionada a duas observações ou a um par de valores de coordenadas (X e/ou Y) pertencentes a um ou dois pontos. A covariância é nula quando as componentes relacionadas são estatisticamente independentes, sem que a recíproca seja necessariamente verdadeira. Quando a covariância for igual a 1, significa correlação perfeita. Normalmente, em um ajustamento de um levantamento usando o mesmo conjunto de observações, as componentes estão correlacionadas.

A precisão de uma observação ou de uma coordenada, pode ser indicada pela sua variância σ^2 , pelo desvio-padrão $\sigma = +\sqrt{\sigma^2}$, ou em termos geodésicos pelo **erro médio quadrático** (mean square error) $m = \sqrt{\sigma^2}$ com o duplo sinal. Demonstra-se com base na função de distribuição de probabilidade da curva normal, que o erro médio quadrático representa uma probabilidade (nível de confiabilidade) de 68,3% de que a diferença entre o valor considerado, observado ou ajustado, e seu valor estimado como verdadeiro se encontra no intervalo compreendido entre $+\sigma$ e $-\sigma$. Para aumentar o nível de confiabilidade para 95% ou 99%, usuais em geodésia, deve-se multiplicar o erro médio quadrático (m) por 1,96 ou 2,58 respectivamente.

O erro médio quadrático (m) de uma coordenada X ou Y de um ponto descreve a precisão posicional do ponto com respeito somente às direções dos eixos X e Y do sistema de referência. Geralmente deseja-se conhecer o erro médio quadrático

máximos e mínimos e suas direções, que podem ser calculadas a partir de elipses de confiança.

A precisão posicional absoluta é expressa pela **elipse de confiança pontual**, que corresponde à elipse de erro pontual padrão considerando um determinado nível de confiabilidade. Os elementos da elipse de erro pontual padrão são:

Semi-eixo maior (a):

$$a^2 = \frac{1}{2} \left(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sqrt{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + 4\sigma_{xy}^2} \right) \quad (4.4.4.b)$$

Semi-eixo menor (b):

$$b^2 = \frac{1}{2} \left(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sqrt{(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2 + 4\sigma_{xy}^2} \right) \quad (4.4.4.c)$$

Orientação (θ) do semi-eixo maior em relação ao sistema de referência:

$$\operatorname{tg}(2\theta) = \frac{2\sigma_{xy}}{\sigma_y^2 - \sigma_x^2} \quad (4.4.4.d)$$

Os semi-eixos da elipse de erro pontual padrão correspondem aos erros médios quadráticos máximos e mínimos, ou seja: $a = \sigma_{\max}$ e $b = \sigma_{\min}$. Demonstra-se com base na distribuição de qui-quadrado que a elipse de erro pontual padrão representa uma região na qual se tem uma probabilidade de 39% de conter a posição estimada do ponto considerado como verdadeira. Para se elevar o nível de confiabilidade para 95% ou 99%, usuais em geodésia, os semi-eixos a e b devem ser multiplicados por 2,45 e 3,03 respectivamente (Gemael, 1994).

A precisão posicional relativa é expressa pela **elipse de confiança relativa**, que corresponde à elipse de erro relativa padrão considerando um determinado nível de confiabilidade. Os elementos da elipse de erro relativa padrão são:

Semi-eixo maior (a)

$$a^2 = \frac{1}{2} \left(\sigma_{\Delta x}^2 + \sigma_{\Delta y}^2 + \sqrt{(\sigma_{\Delta x}^2 - \sigma_{\Delta y}^2)^2 + 4\sigma_{\Delta x \Delta y}^2} \right) \quad (4.4.4.e)$$

Semi-eixo menor (b)

$$b^2 = \frac{1}{2} \left(\sigma_{\Delta x}^2 + \sigma_{\Delta y}^2 - \sqrt{(\sigma_{\Delta x}^2 - \sigma_{\Delta y}^2)^2 + 4\sigma_{\Delta x \Delta y}^2} \right) \quad (4.4.4.f)$$

Orientação (θ) do semi-eixo maior em relação ao sistema de referência:

$$\operatorname{tg}(2\theta) = \frac{2\sigma_{\Delta x \Delta y}}{\sigma_{\Delta y}^2 - \sigma_{\Delta x}^2} \quad (4.4.4.g)$$

sendo:

$$\sigma_{\Delta x}^2 = \sigma_{x_j}^2 + \sigma_{x_i}^2 - 2\sigma_{x_i x_j} \quad (4.4.4.h)$$

$$\sigma_{\Delta y}^2 = \sigma_{y_j}^2 + \sigma_{y_i}^2 - 2\sigma_{y_i y_j} \quad (4.4.4.i)$$

$$\sigma_{\Delta x \Delta y} = \sigma_{x_j y_j} - \sigma_{x_j y_i} - \sigma_{x_i y_j} + \sigma_{x_i y_i} \quad (4.4.4.j)$$

De forma análoga à elipse pontual, a elipse de erro relativa padrão corresponde à probabilidade de 39%. Para elevar o nível de confiabilidade para 95% ou 99%, deve-se multiplicar os semi-eixos por 2,45 ou 3,03 respectivamente.

4.4.5 Qualidade métrica das linhas de limites de parcelas

Além dos indicadores de precisão posicional apresentados no item 4.4.4, a matriz variância co-variância (MVC) dos parâmetros ajustados (expressão 4.4.4.a) possibilita também o cálculo dos indicadores de precisão relacionados a quantidades derivadas das coordenadas ajustadas de um levantamento. Assim, pode-se determinar o erro médio quadrático correspondente à distância entre dois pontos, ao azimute de um alinhamento, à direção qualquer entre dois pontos, ao ângulo entre três pontos, à área da parcela. A precisão da área superficial da parcela é discutida no item 4.5. As precisões dos demais elementos são apresentados em seguida.

O indicador estatístico da qualidade métrica de uma quantidade derivada das coordenadas ajustadas é o erro médio quadrático (m_F), obtido da propagação dos erros decorrentes da precisão posicional dos pontos que definem os limites de parcelas e da configuração geométrica dos pontos considerados.

$$m_F = \sqrt{\Sigma_F} \quad (4.4.5.a)$$

onde,

m_F : erro médio quadrático do elementos geométrico da parcela territorial;

Σ_F : matriz variância do elemento considerado que consiste num escalar.

A qualidade métrica ou precisão de quantidades determinadas a partir de funções (F) das coordenadas ajustadas é obtida da lei geral de propagação de erros dada pela expressão (Gemael, 1994):

$$\Sigma_F = A \Sigma_{X_a} A^T \quad (4.4.5.b)$$

onde,

A : matriz das derivadas parciais da função (F) considerada em relação aos parâmetros $(X_i, Y_i), i = 1, \dots, n$;

Σ_{X_a} : matriz variância co-variância das coordenadas ajustadas (expressão 4.4.4.a).

A matriz A tem a forma geral:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial F}{\partial X_1} & \frac{\partial F}{\partial Y_1} & \frac{\partial F}{\partial X_2} & \frac{\partial F}{\partial Y_2} & \dots & \frac{\partial F}{\partial X_n} & \frac{\partial F}{\partial Y_n} \end{bmatrix} \quad (4.4.5.c)$$

As derivadas parciais de cada uma das função (F) são obtidas das expressões apresentadas no ítem 4.4.2. Para o cálculo da precisão da distância a expressão utilizada para a formação da matriz A é a (4.4.2.c), para o cálculo

do azimute a expressão utilizada é a (4.4.2.e), para o cálculo de uma direção qualquer a expressão utilizada é a (4.4.2.g), e para o cálculo de um ângulo a expressão utilizada é a (4.4.2.i).

4.5 Área superficial da parcela territorial

Num sistema cadastral onde são determinadas as coordenadas dos pontos que definem os limites de parcelas territoriais, o cálculo da área superficial é obtido pela fórmula de Gauss, apresentada no item 4.5.1. Nesta pesquisa, incorporou-se um aperfeiçoamento técnico no cálculo de áreas das parcelas territoriais, determinando-se um indicador estatístico da qualidade métrica da área (ver item 4.5.2). A determinação da qualidade métrica da área é importante para verificar o erro máximo admissível de um vigésimo ou de 5% na determinação da área de um imóvel, conforme estabelecido no Código Civil Brasileiro de 1916 – Lei 3.071, de 01/01/1916 e mantido no Novo Código Civil - Lei 10.406, de 10/01/2002.

4.5.1 Cálculo da área superficial

O cálculo da área superficial (S) de uma parcela territorial definida pelas coordenadas $(X_i, Y_i), i = 1, \dots, n$ dos pontos de limites é dada pela fórmula de Gauss:

$$S = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^n Y_i X_{i+1} - \sum_{i=1}^n X_i Y_{i+1} \right) \quad (4.5.1)$$

sendo n a quantidade de vértices do polígono e quando $i=n$ o vértice $i+1$ coincidente com o vértice 1 , caracterizando assim um polígono fechado.

4.5.2 Qualidade métrica da área superficial

O indicador estatístico da qualidade métrica da área superficial da parcela é o erro médio quadrático da área (m_s), obtido da propagação dos erros decorrentes da

precisão posicional dos pontos que definem os limites de parcelas e da configuração geométrica da parcela.

$$m_s = \sqrt{\Sigma_s} \quad (4.5.2.a)$$

onde,

m_s : erro médio quadrático da área superficial da parcela territorial;

Σ_s : matriz variância da área, que consiste num escalar.

O cálculo da matriz variância da área (Σ_s) é realizado através da propagação das covariâncias das coordenadas dos pontos que definem os limites de parcela territorial (Gemael, 1994; Wolf, 1997):

$$\Sigma_s = A \Sigma_{X_a} A^T \quad (4.5.2.b)$$

onde,

A : matriz das derivadas parciais da função área (S) em relação aos parâmetros $(X_i, Y_i), i = 1, \dots, n$;

Σ_{X_a} : matriz variância covariância das coordenadas ajustadas.

A matriz A é obtida por

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial S}{\partial X_1} & \frac{\partial S}{\partial Y_1} & \frac{\partial S}{\partial X_2} & \frac{\partial S}{\partial Y_2} & \dots & \frac{\partial S}{\partial X_n} & \frac{\partial S}{\partial Y_n} \end{bmatrix} \quad (4.5.2.c)$$

Sendo as derivadas parciais da função de área S em relação aos parâmetros $(X_i, Y_i), i = 1, \dots, n$:

$$\frac{\partial S}{\partial X_i} = \frac{1}{2}(Y_{i-1} - Y_{i+1}) \quad (4.5.2.d)$$

$$\frac{\partial S}{\partial Y_i} = \frac{1}{2}(X_{i+1} - X_{i-1}) \quad (4.5.2.e)$$

A matriz variância covariância das coordenadas ajustadas (Σ_{X_a}) é resultante do ajustamento pelo método dos mínimos quadrados, e apresentada no item 4.4.4 (expressão 4.4.4.a).

Para esta pesquisa, foi desenvolvido um aplicativo computacional para o cálculo da área e respectivo desvio-padrão, disponibilizado em www.geodesia.ufba.br.

4.5.3 Área da parcela e a Lei 10.267 / 2001

No sistema cadastral brasileiro, o valor da área superficial do imóvel é um dos elementos mais importantes, sendo objeto inclusive de registro legal específico. De acordo com o Art. 176 da Lei de Registros Públicos – Lei 6.015 / 1973, com nova redação dada pela Lei 10.267 / 2001, a identificação do imóvel para fins de registro

... será feita com indicação:

a - se rural, do código do imóvel, dos dados constantes do CCIR, da denominação e de suas características, confrontações, localização e área;

b - se urbano, de suas características e confrontações, localização, área, logradouro, número e de sua designação cadastral, se houver.

Acontece que a própria Lei 10.267 / 2001 estabelece também que a identificação dos imóveis rurais seja feita a partir das coordenadas dos pontos que definem os limites do imóvel (ver item 2.4.1). Como existe uma dependência direta, definida matematicamente entre o cálculo da área superficial (S) de uma parcela territorial e as coordenadas $(X_i, Y_i), i=1, \dots, n$ dos pontos que definem seus limites que é dada pela expressão mostrada no item 4.5.1, então a área registrada deve ser exclusivamente aquela obtida da referida expressão. Caso contrário, os dados do registro serão inconsistentes.

5 AJUSTAMENTO DA MEDIÇÃO CADASTRAL – EXEMPLO PRÁTICO

Neste Capítulo demonstra-se com um exemplo os procedimentos propostos nesta pesquisa para a realização do levantamento cadastral. No item 5.1 discute-se o procedimento de otimização aplicado ao levantamento cadastral, necessário para uma pré-análise da qualidade posicional do levantamento. No item 5.2 apresenta-se o módulo NETZ2D do aplicativo Strada Atlas para MicroStation que foi a ferramenta computacional usada. No item 5.3 é mostrado um exemplo de medição cadastral, com o respectivo ajustamento.

5.1 Considerações sobre otimização de levantamentos

A otimização de um levantamento tem por objetivo o planejamento das medições de modo a obter resultados com a qualidade desejada realizando observações que sejam as mais viáveis prática e economicamente. O termo otimização sugere não somente uma boa solução para o problema, mas a melhor ou a mais adequada.

O processo de otimização de um levantamento é conduzido através da pré-análise dos resultados, devendo ser levados em conta fatores como (Dalmolin, 2002):

- a) a satisfação da qualidade (precisão) pré-estabelecida dos parâmetros (coordenadas finais) estimados;
- b) o tipo, a quantidade e a qualidade (precisão) de observações necessárias e/ou suficientes para atender a condição anterior;
- c) a localização das medições, ou seja, as linhas de visadas possíveis que se deve medir, e a configuração geométrica dos elementos observados;
- d) a viabilidade e eficiência (agilidade e economia) de diferentes alternativas;
- e) a disponibilidade de recursos instrumentais, humanos e econômicos das alternativas.

A vantagem da pré-análise de um levantamento é que torna possível estimar a precisão dos pontos adequadamente, em função das necessidades, antes das medições de campo serem conduzidas. Assim, no levantamento cadastral, a homogeneidade do levantamento cadastral pode ser avaliada a priori. Ou seja, os valores das precisões dos pontos de limites de parcelas são estimados antes da execução das medições, possibilitando assim avaliar se a tolerância posicional pré-definida será atingida.

O procedimento mais prático de otimização de um levantamento é o conhecido método de tentativa-e-erro. Esse método não produz soluções teoricamente otimizadas, e sim soluções escolhidas a partir de experimentos simulados em computador. A Figura 8 apresenta de forma esquemática os passos a serem adotados no processo de otimização através de simulação. Os modelos matemáticos envolvidos na pré-análise são os mesmos do ajustamento (item 4.4). Com as ferramentas computacionais atualmente disponíveis com soluções gráficas e iterativas, faz com que a simulação de um levantamento seja um procedimento bastante atrativo.

No processo de simulação da precisão posicional de um levantamento, altera-se a cada vez o tipo, quantidade e precisão das observações e determina-se a alternativa para se obter os melhores resultados de forma mais econômica. Brandão (1996) aplicou a otimização por tentativa-e-erro num campo de pontos planimétricos visando a determinação do padrão métrico da base de calibração de distanciômetros da UFPE. Nesse experimento, verificou-se que os resultados do ajustamento do campo de pontos medido foram equivalentes ao campo de pontos simulado, demonstrando assim a viabilidade do procedimento.

No levantamento cadastral, especificamente, a otimização deve ser um procedimento usual, pois possibilita a avaliação prévia de situações onde seja necessário exigir tolerâncias posicionais mais rigorosas do que aquelas propostas no item 4.2, uma vez que dependendo da extensão e da configuração geométrica da parcela o resultado do levantamento poderá ou não atender às exigências de tolerância. Possibilita também a avaliação *a priori* do resultado final do

levantamento nas parcelas adjacentes onde seja necessária a conectividade entre elas com precisões posicionais distintas.

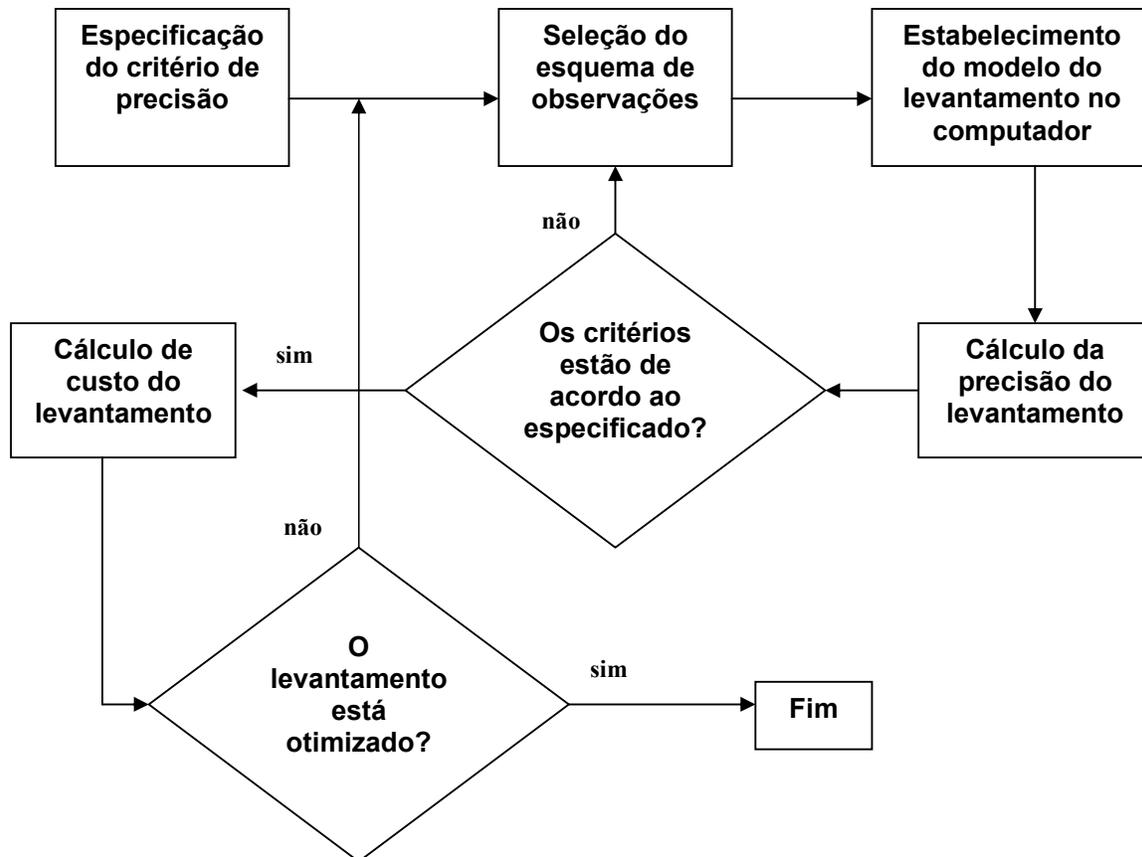


Figura 8 – Procedimento de simulação de um levantamento

Fonte (Cross, 1982)

5.2 Ferramenta computacional

A ferramenta computacional usada nesta pesquisa no processamento dos exemplos de pré-análise e ajustamento de medições cadastrais foi o módulo NETZ2D do aplicativo Strada Atlas para MicroStation. O software MicroStation da Bentley Systems é um CAD usado em aplicações cartográficas. Para esta pesquisa utilizou-se a versão MicroStation 95 Academic licenciada para o Laboratório de Geoprocessamento da UFSC.

O Strada Atlas é um aplicativo do MicroStation desenvolvido pela Soft Construct SA, Alemanha, que processa e analisa dados de levantamentos terrestres. O resultado do processamento é integrado em um arquivo DGN específico do MicroStation. Foi usada a versão 3.10 do aplicativo Strada Atlas, cedida para uso exclusivo nesta pesquisa pela Soft Construct SA, que ofereceu também todo o suporte técnico necessário. A Figura 9 mostra a tela de abertura e a identificação do aplicativo Strada Atlas.

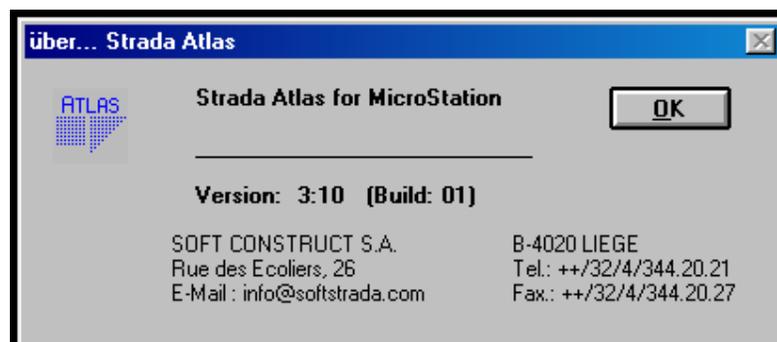
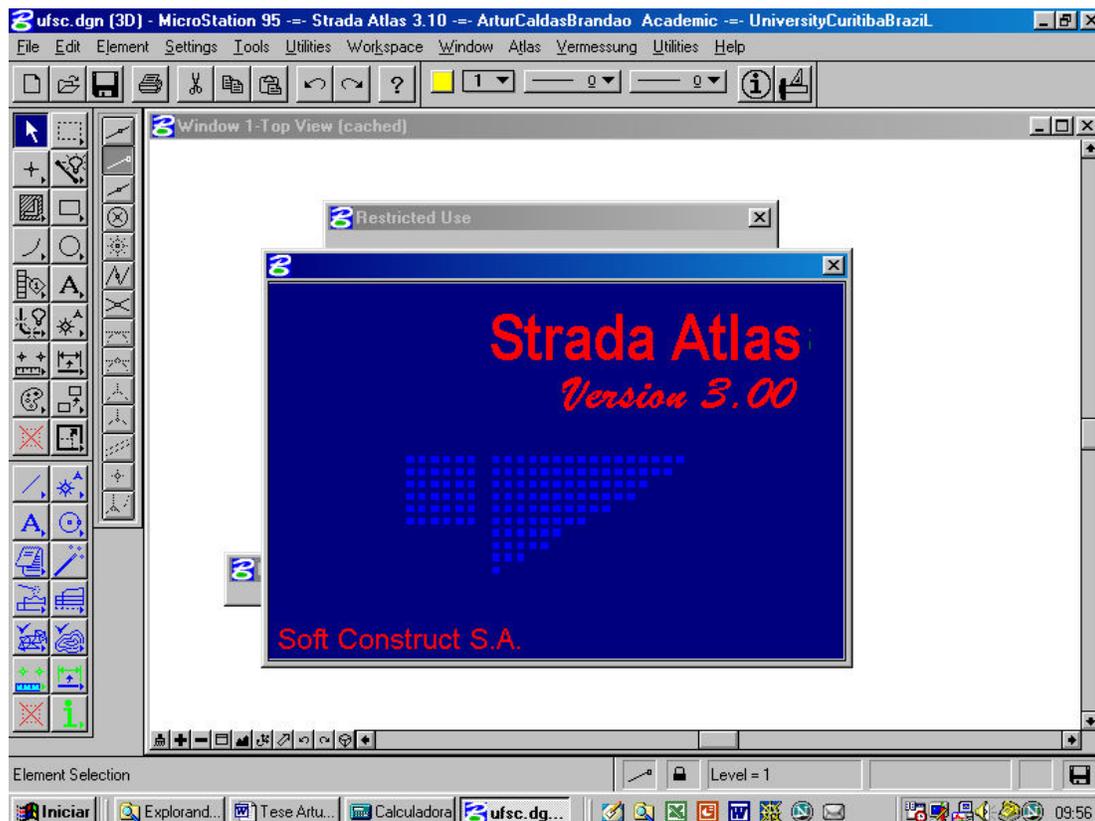


Figura 9 – Tela de abertura e identificação do aplicativo Strada Atlas

A Figura 10 mostra o conteúdo de medições do aplicativo Strada Atlas, com destaque aos módulos de ajustamento e de processamento de dados de cadernetas de campo. Podem ser processados dados de levantamentos terrestres dos tipos: polar, por alinhamentos, ortogonal e por coordenadas. O módulo de ajustamento de dados de levantamentos do aplicativo Strada Atlas é o programa NETZ2D desenvolvido pelo Geodaetisches Institut – Universitaet Karlsruhe – Alemanha.

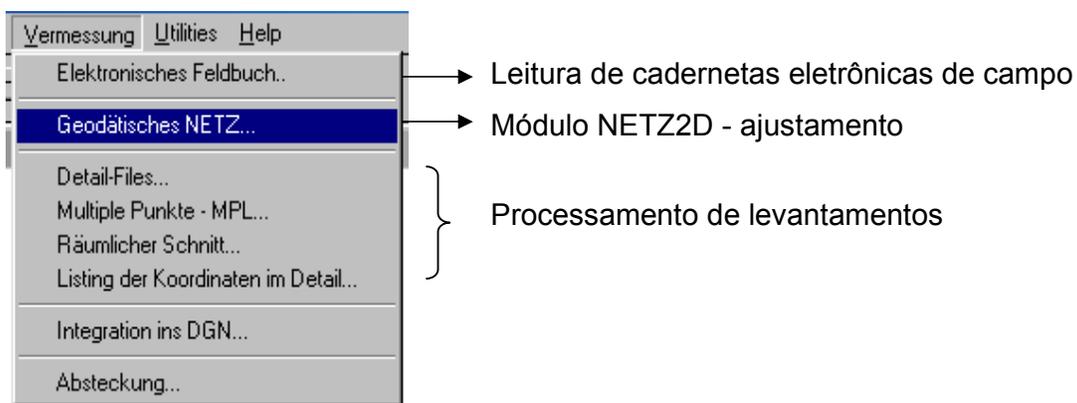


Figura 10 – Conteúdo de medições do aplicativo Strada Atlas

O módulo NETZ2D é integrado ao Strada Atlas e pode ser usado para o ajustamento e análise de levantamentos. A opção ajustamento calcula os dados do levantamento a partir das medidas de campo e respectivas precisões. A opção análise ou planejamento de levantamento é usado para simulações e não há necessidade de dispor das medidas de campo. O modelo funcional e estocástico do módulo NETZ2D consiste no método paramétrico por mínimos quadrados como apresentados no item 4.4.

Nesta pesquisa o módulo NETZ2D do aplicativo Strada Atlas foi usado no exemplo de levantamento cadastral mostrado no item 5.3. A Figura 11 mostra as janelas de cálculo disponíveis no módulo NETZ2D:

- a) identificação e anotações;
- b) parâmetros de controle – modelo de cálculo, parâmetros do sistema geodésico, tolerâncias, parâmetros estatísticos;

- c) medidas de campo ou simuladas – distâncias, direções, coordenadas, azimutes;
- d) cálculos – das coordenadas aproximadas e do ajustamento;
- e) apresentação dos dados.

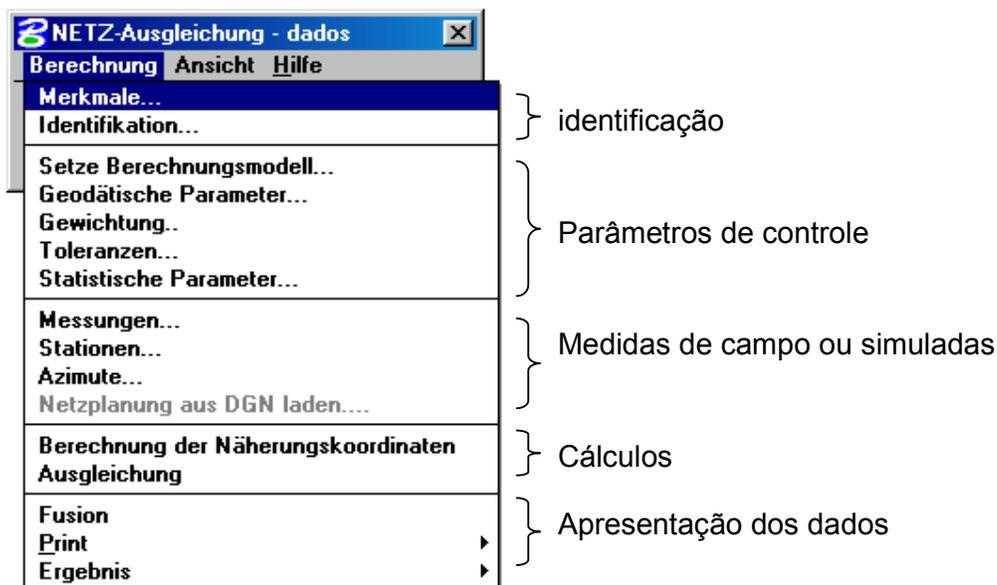


Figura 11 – Conteúdo de cálculo do módulo NETZ2D do aplicativo Strada Atlas

5.3 Exemplo de levantamento cadastral com medições de controle

Conforme discutido no item 3.4.4, no Brasil não há tradição na execução de levantamentos cadastrais considerando os procedimentos de medição estabelecidos nesta pesquisa, ou seja, com repetição da observação e medição de controle. Por isso, houve dificuldades em encontrar exemplos reais de levantamentos cadastrais já executados, onde se poderia aplicar o ajustamento cadastral e avaliar a qualidade posicional com base no Princípio da Vizinhança.

Nos levantamentos cadastrais em áreas urbanas no Brasil, as medições de controle quando realizadas, estão relacionadas às poligonais ou redes de referência. Em geral, os levantamentos cadastrais são conduzidos sem medições de controle para os pontos que definem os limites de parcelas. A regra no país

são levantamentos do tipo polar com irradiações simples para os pontos de limites. Nem mesmo os métodos de levantamentos por alinhamentos ou ortogonal que distribuem as tensões geométricas de uma medição entre os pontos de referência são usados Brasil. Uma exceção foi o experimento de Hasenack (2000) que realizou um levantamento cadastral pelo método dos alinhamentos e ortogonal numa quadra urbana na cidade de Florianópolis-SC.

A mesma situação foi verificada nos levantamentos cadastrais em áreas rurais. Atualmente, os levantamentos cadastrais realizados pelo INCRA adotam o método de posicionamento por GPS sem medições de controle. A exceção foi encontrada nos levantamentos cadastrais realizados pelo INCRA usando o método polar por taqueometria, a exemplo do Projeto de parcelamento do imóvel Sítio Novo e Roncador no município de Iaçú, Estado da Bahia, executado em 1985. Nesses casos, foram implantadas poligonais apoiadas como referência do levantamento, e os pontos de limites de parcelas foram medidos por irradiações a partir de pelo menos duas estações distintas. No entanto, essas medições de controles foram usadas apenas para confirmação da medição e não para o ajustamento. Houve dificuldades em localizar todos os originais (cadernetas de campo) desses levantamentos, e isso impossibilitou a realização de um novo processamento aplicando-se os procedimentos propostos nesta pesquisa.

Assim, para avaliar os procedimentos de execução de levantamento cadastral propostos nesta pesquisa, realizou-se um levantamento cadastral no campo referente a uma parcela territorial fictícia no campus da UFSC, utilizando-se métodos terrestres com medição de controle. Na seqüência são apresentados os resultados obtidos desse levantamento.

5.3.1 Medições de campo do levantamento cadastral

O levantamento cadastral de uma parcela fictícia nas proximidades do Planetário no campus da UFSC foi realizado em dezembro de 1999 pelos alunos da disciplina Medições Cadastrais do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil

da UFSC. Foi usado o método polar com medições de controle. O levantamento polar foi realizado com uma estação total Topcon GTS 211D medindo-se, a partir de uma estação (10), irradiações com direções e distâncias para cinco pontos definidores dos limites da parcela. Em cada observação, foram realizadas pelo menos três medidas, considerando-se suficiente as medidas angulares com desvio-padrão de até 10" e as medidas lineares com desvio-padrão de até 5mm, adotando-se esses valores para todas as observações. A Tabela 2 mostra as observações realizadas.

estação	Ponto visado	Angulo horizontal ° ' "	Distância horizontal (m)
10	1	00 00 00 ±10"	23,628 ±0,005
10	2	61 49 59 ±10"	46,920 ±0,005
10	5	139 47 54 ±10"	64,899 ±0,005
10	3	146 07 32 ±10"	60,534 ±0,005
10	4	191 46 33 ±10"	35,085 ±0,005

Tabela 2 – Observações de campo do levantamento polar

Nesse exemplo prático pretende-se demonstrar a eficiência do procedimento de medição e ajustamento das observações por meio de avaliação estatística de qualidade. Por esse motivo a qualidade das medições e dos resultados em si não foram objeto de análise e avaliação. As medições de controle foram realizadas medindo-se com trena de fibra as distâncias de cada linha de limite da parcela, conforme mostra a Figura 12.

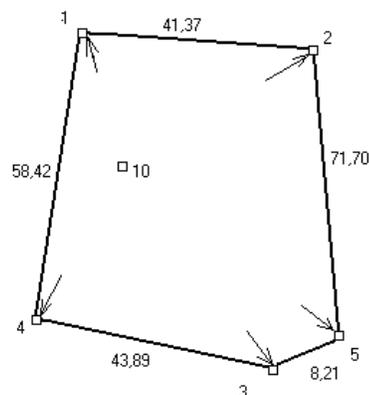


Figura 12 – Croquis de medições de controle do levantamento polar

5.3.2 Processamento do levantamento cadastral

O processamento do levantamento cadastral foi realizado com o módulo NETZ2D do aplicativo Strada Atlas para MicroStation. O resultado do ajustamento é apresentado em seguida para um processamento no modo ajustamento livre. Na Tabela 3 são apresentados os seguintes elementos pontuais do ajustamento cadastral, cujas representações gráficas são mostradas na Figura 13:

- Coordenadas aproximadas, calculadas com os elementos de medição no método polar, corresponde ao resultado do levantamento sem considerar as medições de controle.
- Coordenadas ajustadas.
- Elipses de confiança pontuais a um nível de confiabilidade de 95%.

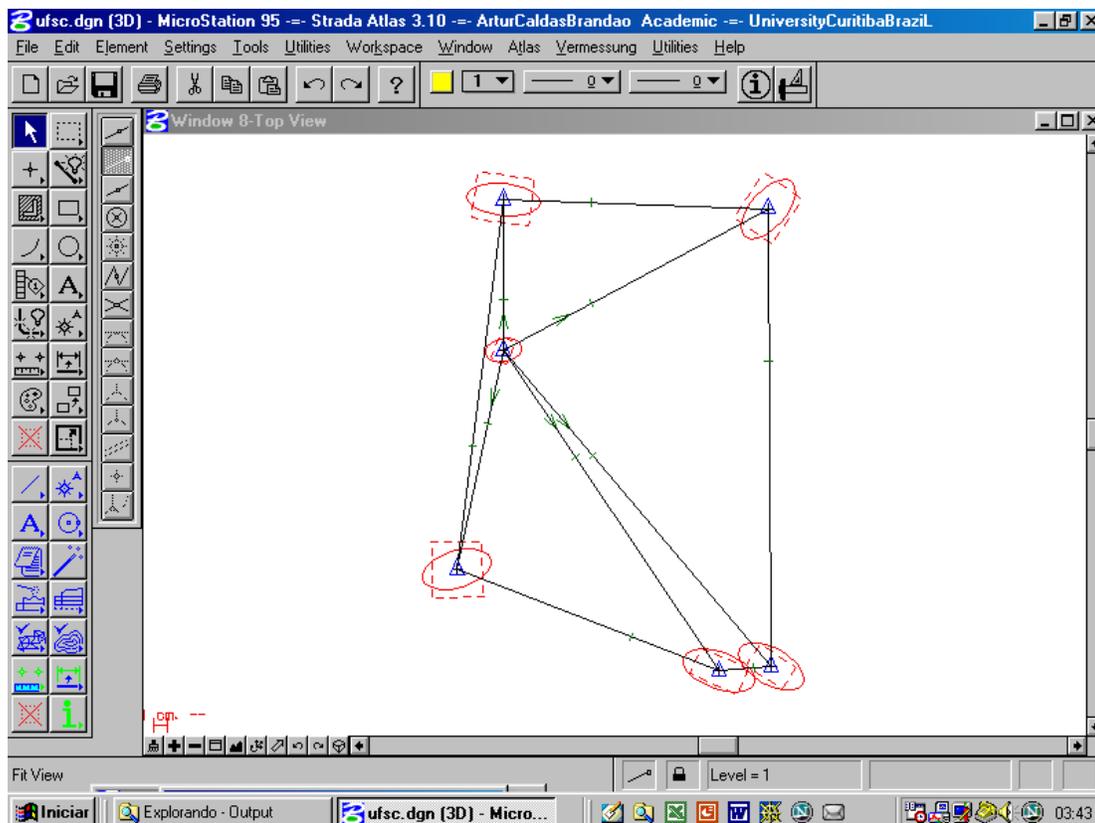


Figura 13 - Representação gráfica dos elementos pontuais do ajustamento.

ponto	Coordenadas aproximadas (m)		Coordenadas ajustadas (m)		Elipse de confiança pontual		
	Yo	Xo	Y	X	a (m)	b (m)	θ (°)
10	107.446	90.947	107.4470	90.9470	0.0145	0.0090	10.1
1	107.446	114.575	107.4477	114.5757	0.0287	0.0125	174.1
2	148.810	113.095	148.8065	113.0916	0.0285	0.0142	50.1
4	100.286	56.600	100.2857	56.6001	0.0280	0.0144	15.6
5	149.337	41.378	149.3454	41.3773	0.0282	0.0146	150.4
3	141.186	40.688	141.1797	40.6895	0.0296	0.0144	160.4

Tabela 3 – Elementos pontuais do ajustamento cadastral

Na Tabela 4 são apresentados os elementos das elipses de confiança relativas a um nível de confiabilidade de 95%. A elipse de confiança relativa indica a qualidade métrica da linha de limite de parcela.

Linha de limite		Elipse de confiança relativa			Distância ajustada (m).	m (m)
Ponto i	Ponto j	a (m)	b (m)	θ (°)		
1	2	0.043	0.027	34.4	41.3855	0.0308
2	5	0.035	0.033	184.0	71.7164	0.0316
5	3	0.045	0.025	178.8	8.1946	0.0195
3	4	0.044	0.025	191.9	43.8801	0.0306
4	1	0.044	0.021	7.1	58.4163	0.0342

Tabela 4 – Elipses de confiança relativas

Os resultados apresentados nesse exemplo demonstram a eficiência do procedimento proposto na avaliação da qualidade da medição cadastral. Observa-se que adotar tais procedimentos em uma situação real de levantamento cadastral, não implica na alteração dos processos de medição usados rotineiramente pelos profissionais, exceto pela necessidade de realizar as medidas de controle. No entanto, voltando-se para a realidade brasileira, a maior limitação da proposta reside no fato de não se encontrar no mercado aplicativos computacionais adequados para o processamento dos dados.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES DA PESQUISA

As conclusões e recomendações desta pesquisa estão relacionadas às duas proposições principais que foram estabelecidas, a saber:

- a) O conceito de parcela como unidade territorial básica a ser adotada pelo sistema cadastral brasileiro considerando as especificidades do domínio territorial no Brasil e a legislação territorial do país.
- b) Os procedimentos específicos para a caracterização espacial da parcela territorial, com base na aplicação do Princípio da Vizinhança no levantamento cadastral das coordenadas dos pontos de limites de parcelas com avaliação da sua precisão posicional.

6.1 Conclusões

As principais conclusões desta pesquisa foram:

- a) Demonstrou-se que o levantamento cadastral quando realizado com base no Princípio da Vizinhança das medições geodésicas garante a especialidade de parcelas territoriais. Isso por que, todos limites de parcelas (estremas) são determinados com uma precisão posicional confiável e compatível com uma tolerância pré-definida, comprovadas estatisticamente e, portanto, passíveis de confrontações e confirmações, evitando-se a repetição da medição nos limites (estremas) já determinados.
- b) Para satisfazer as necessidades institucionais e a legislação relacionada, propõe-se que a parcela territorial a ser adotada pelo sistema cadastral brasileiro deve ter como características principais: a continuidade espacial, a unicidade dominial, a mesma situação jurídica e a mesma situação administrativa.
- c) Demonstrou-se que para satisfazer a legislação brasileira, a tolerância posicional para os pontos que definem os limites de parcelas territoriais deve

ser de $\pm 0,10\text{m}$ nos levantamentos em áreas urbanas e de $\pm 1,77\text{m}$ nos levantamentos em áreas rurais. Para satisfazer essas tolerâncias, o levantamento cadastral deve apresentar resultados de coordenadas ajustadas dos pontos que definem os limites de parcelas com precisões posicionais de $\pm 0,03\text{m}$ em áreas urbanas e de $\pm 0,59\text{m}$ em áreas rurais considerando um nível de confiabilidade de 99,7%. Verificou-se, portanto que a precisão posicional de $\pm 50\text{cm}$ dos levantamentos cadastrais de imóveis rurais estabelecida pela Portaria INCRA 954 / 2002, em atendimento à Lei 10.267 / 2001 e Decreto 4.449 / 2002, atende ao critério de tolerância posicional estabelecido nesta pesquisa.

- d) Propõe-se que os procedimentos técnicos das medições cadastrais através de métodos terrestres de levantamentos, devem incluir a repetição das observações, a realização de medições de controle e o ajustamento por mínimos quadrados. Com isso, os pontos que definem os limites de parcelas territoriais ficam determinados com uma precisão posicional. Conseqüentemente, todos os elementos geométricos de interesse relacionados à parcela territorial, tais como áreas, distâncias, direções e ângulos são determinados através de funções matemáticas derivadas das coordenadas dos pontos de limites, incluindo também as correspondentes avaliações qualitativas em termos de erros médios quadráticos (RMS) de área, de distâncias, de direções e de ângulos.

6.2 Recomendações

Considerando que esta pesquisa não avaliou em sua totalidade o amplo espectro de questões relacionadas ao aperfeiçoamento do sistema cadastral brasileiro, identificaram-se assim, as seguintes propostas e necessidades objetivando investigações futuras:

- a) Adaptar a legislação brasileira de modo a satisfazer às características identificadas relacionadas à parcela territorial a ser adotada pelo sistema cadastral brasileiro;
- b) Avaliar a exatidão posicional do levantamento cadastral considerando a amarração dos pontos da rede de referência cadastral ao Sistema Geodésico Brasileiro;
- c) Avaliar a qualidade posicional de medições cadastrais através de métodos de levantamentos por imagens;
- d) Atualizar a NBR 13133 – Execução de levantamento topográfico (ABNT, 1994) com definições coerentes com o entendimento internacional sobre levantamento cadastral e Princípio da Vizinhança;
- e) Atualizar e aperfeiçoar as Normas Técnicas para Levantamentos Topográficos do INCRA (2001), considerando os procedimentos estabelecidos nesta pesquisa para a medição e ajustamento do levantamento cadastral;
- f) Tornar uma prática rotineira o cálculo de área superficial de parcelas territoriais com a correspondente avaliação da incerteza, como forma de convalidar a medição cadastral;
- g) Desenvolver aplicativos computacionais adaptados às situações encontradas nas medições cadastrais, possibilitando o ajustamento pelo método dos mínimos quadrados;
- h) Realizar um estudo econômico dos benefícios do cadastro baseado em medições, avaliando os prejuízos decorrentes de cadastros incompletos, superpostos, imprecisos e desatualizados, testando a hipótese de que o custo que a sociedade arca em não ter um cadastro é maior do que o custo de realizar e manter esse cadastro;

- i) Estabelecer diretrizes de um modelo gerencial para o sistema cadastral brasileiro, definindo competências e responsabilidades profissionais e institucionais para a realização de atividade cadastrais, considerando a legislação, execução e fiscalização. Observa-se que para aplicar as propostas desenvolvidas nesta pesquisa, com abrangência nacional, somente é possível com uma padronização mínima nos procedimentos técnicos e na estrutura de gerenciamento do sistema;

- j) Criar condições para possibilitar a ampliação e uma formação mais adequada dos profissionais que lidam com o cadastro, com abertura de novas escolas (nível médio e superior), revisão da estrutura curricular;

- k) Definir diretrizes básicas para o estabelecimento de uma Lei de Cadastro de parcelas territoriais para o Brasil adaptada à realidade social, tecnológica e jurídica do país visando principalmente a implantação de um sistema de informações territoriais de fácil acesso, simples, completo e preciso. Essa legislação deve contemplar aspectos relacionados aos procedimentos técnicos, ao modelo de gerenciamento, e às responsabilidades profissionais. De uma maneira geral, uma legislação cadastral deve incorporar as principais orientações da FIG quanto ao estabelecimento de sistemas cadastrais eficientes. Essas recomendações foram apresentadas na Declaração do "CADASTRO 2014" (Kaufmann & Steudler , 1998):
 - I) O cadastro deve apresentar a situação territorial legal de forma completa e atualizada, incluindo as restrições e conveniências públicas e privadas;
 - II) Deve haver uma integração entre o cadastral e o registro territorial;
 - III) A carta cadastral pura e simples deve ser substituída por sistemas de informações territoriais;
 - IV) O cadastro deve ser automatizado;
 - V) O cadastro deve envolver os setores público e privado;
 - VI) O cadastro deve ser auto-sustentado economicamente.

- l) Desenvolver projeto de laboratório experimental de campo para implantação do cadastro de parcelas territoriais, considerando as propostas estabelecidas nesta

pesquisa. Nesse laboratório seriam concentrados os trabalhos de pesquisa aplicada em cadastro, objetivando demonstrar em médio prazo resultados concretos de um cadastro de parcelas territoriais no gerenciamento territorial. Esse projeto deve ter o envolvimento institucional de organizações ligadas ao gerenciamento territorial. O local escolhido para a implantação desse projeto deve ser preferencialmente um município completo ou um distrito, devendo ter as seguintes características: áreas urbanas e rurais, áreas regularizadas e de ocupações irregulares, área de grande dinâmica e expansão ocupacional.

REFERÊNCIAS

ABNT, NBR 13133 - *Execução de Levantamento Topográfico*. 1994.

ABNT, NBR 14166 - *Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimentos*. 1998.

ABNT, NBR 14645-1 – *Elaboração do “como construído” (as built) para edificações – Parte 1: Levantamento planialtimétrico e cadastral de imóveis urbanizado com área de até 25000 m², para fins de estudos, projetos e edificação. Procedimentos*. 2001.

ALMEIDA, Tabosa de. *O Cadastro e o Registro Imobiliário no Brasil*. Revista de Direito Imobiliário, n.9, jan/jun-1982. Disponível em: <http://www.irib.org.br/rdi/rdi09-041.htm>. Acesso em: 08/09/2000.

ALTA / ACSM. *Minimum Standart Detail Requirements for ALTA / ACSM Land Title Surveys*. 1999. Disponível em: <http://www.acsm.net/99altawd97.doc>.

BANNISTER, A., RAYMOND, S., BAKER, R. *Surveying*. 6a ed. Longman Scientific & Technical. England, 1992.

BENNING, Wilhelm. *KATGIS – um protótipo alemão de um integração entre o Cadastro de Bens Imobiliários e o Registro Geral de Imóveis*. Geodesia On-Line, n.3, 1998. Disponível em <<http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/1998/03/benning.htm>>. Acesso em: 20/09/2000.

BLACHUT, T.J. CHRZANOWSKI, A. SAASTAMOINEN, J.H. *Cartografía y Levantamentos Urbanos*. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional. Springel - Verlang. New York Inc. 1979.

BIRRELL, Sandra, BARRY, John, HALL, Denis, PARKER, John. *Is the Torrens System Suitable for the 21st Century?* In: 2010 – a Vision, 1995 New Zealand – Australia Cadastral Conference. Disponível em: <<http://www.linz.govt.nz/services/surveysystem/osgpublications/cadconf/wksp-b1.html>>. Acesso em: 09/09/2000.

BRANDÃO, A. C., ROCHA, R. S., PHILIPS, J. *Exatidão Posicional do Cadastro Imobiliário*. In: XX Congresso Brasileiro de Cartografia e IX Congresso Nacional de Engenharia de Agrimensura. Porto Alegre, out. 2001. Anais em CD-ROM.

BRANDÃO, A. C., CARNEIRO, A. F. T., ROCHA, R. S., PINTO, M. M. R., PHILIPS, J. W. *A Inconsistência Métrica / Cartográfica na Atual Legislação Territorial Brasileira*. COBRAC 2000. Anais. Florianópolis, 2000. CD-ROM.

BRANDÃO, Artur C. *Possibilidade de Emprego de um Campo de Pontos Planimétricos como Definidor de um Comparador de Distâncias Colineares*. Dissertação de Mestrado. UFPR. Curitiba. 1996.

BRASIL. *Lei 3071*, de 1º de janeiro de 1916. Instituí o Código Civil Brasileiro. Disponível em: <www.planalto.gov.br/CCIVIL/Leis/L3071.htm>. Acesso em: 26/03/2000.

BRASIL. *Lei 4504*, de 30 de novembro de 1964. Dispõe sobre o Estatuto da Terra. Disponível em: <www.senado.gov.br/legbra/brsrry2.html>. Acesso em: 11/04/2000.

BRASIL. *Lei n.5.868*, de 12/12/1972. Regulamenta o SNCR. [online]. Disponível pela Internet via WWW. URL: <http://www.incra.gov.br/estrut/lei/5868.htm>. Arquivo capturado em 10/04/00.

BRASIL. *Lei 6015*, de 31 de dezembro de 1973. Dispõe sobre os Registros Públicos. Disponível em: <www.senado.gov.br/legbra/brsrry2.html>. Acesso em: 26/03/2000.

BRASIL. *Lei 6.766*, de 19/12/1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano. [online]. Disponível pela Internet. URL: <http://www.senado.gov.br/legbra/brsrry2.html>. Arquivo capturado em 18/05/00.

BRASIL. *Decreto nº. 89.817*, de 20/06/1984 – Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.

BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil*. 1988.

BRASIL. *Lei 10.257*, de 10 de julho de 2001. Estatuto da Cidade. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana, e dá outras providências.

BRASIL. *Lei 10.267*, de 28 de agosto de 2001. Altera dispositivos das Leis nos 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, *Lei 10.406*, de 10 de janeiro de 2002. Institui o Novo Código Civil, em vigor a partir de 10/01/2003.

BRASIL, *Decreto 4.449* de 30 de outubro de 2002. Regulamenta a Lei 10.267 de 28/08/2001.

BURGESS, Peter, DAWIDOWSKI, Tadeusz. *A Digital Cadastral Survey System for New Zealand*. In: 2010 – a Vision, 1995 New Zealand – Australia Cadastral Conference. Disponível em:

<http://www.linz.govt.nz/services/surveysystem/osgpublications/cadconf/wksp_b3.html>. Acesso em: 12/09/2000.

CARNEIRO, A.F.T. *Uma proposta de reforma cadastral visando a vinculação entre Cadastro e Registro de Imóveis*. Tese de Doutorado. UFSC: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis, 2000. 180p.

CARNEIRO, Andrea F. T., LOCH, Carlos, JACOMINO, Sérgio. *Tendências do Cadastro Imobiliário*. Revista de Direito Imobiliário, n.48, janeiro/junho de 2000, p.233-244.

CARNEIRO, A. F. T. *Cadastro Imobiliário e sua Integração com o Registro de Imóveis*. Recife, UFPE, 2002.

CARNEIRO, Andréa F. T., BRANDÃO, Artur C. A Lei 10.267 /2001 e sua Regulamentação. COBRAC 2002 – Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Anais em CD-ROM. Florianópolis. 2002.

CARVALHO, Afrânio de. *O Anteprojeto de Código Civil e o Registro de Imóveis*. Revista de Direito Imobiliário, n.6, jul/dez-1980. Disponível em: <http://www.irib.org.br/rdi/rdi06-021.htm>. Acesso em: 09/09/2000.

CARVALHO, Afrânio de. *A Planta do Imóvel e seu Aproveitamento no Registro*. Revista de Direito Imobiliário, n.10, jul/dez-1982. Disponível em: <http://www.irib.org.br/rdi/rdi10-009.htm>. Acesso em: 09/09/2000.

CARVALHO, Afrânio de. *Registro de Imóveis*. 4ª ed. Ed. Forense. Rio de Janeiro, 1997. 505p.

COMMITTEE ON GEODESY. *Procedures and Standards for a Multipurpose Cadastre*. National Academy Press. National Research Council. Washington, DC, 1983.

CROSS, P. A. *Computer Aided Design of Geodetic Networks*. In: International Symposium on Geodetic Network and Computations. Munche: 1982. v.3, 157p. p.13-21.

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, Quintino. *Ajustamento por Mínimos Quadrados*. UFPR. Curitiba, 2002. 174p.

DETREKOI, Ákos. *Data Quality in GIS Environment*. In: BÄHR, H. P., VÖGTLE, T. GIS for Environmental Monitoring. Stuttgart: Schweizerbart, 1999. 360p.

EBERL, Horst Karl Dobner. *Sistemas Cadastrales*. Mexico, 1982.

EGUREN, Rafael Arnaiz. *El Concepto de Finca y la Trascendencia de su Descripción en el Registro de la Propiedad y en el Catastro*. Revista de Direito Imobiliário, n.42, set-dez/1997. Disponível em <<http://www.irib.org.br/rdi/rdi42-013.htm>>. Acesso em 02/11/2000.

ERBA, D.A., LOCH, C. *A Lei Nacional de Cadastro: uma necessidade urgente do Brasil*. Anais do VII CONEA. Salvador, 1996. p411-416.

ERPEN, Décio Antônio. *O Registro Torrens e o Sistema Imobiliário Atual*. Revista de Direito Imobiliário, n.19/20, jan/dez-1987. Disponível em: <http://www.irib.org.br/rdi19-20-060.htm>. Acesso em: 11/04/2000.

FIG. *Information Leaflet*. International Federation of Surveyors. 2001. Disponível em: <http://www.fig.net/figtree/general/leaflet.htm>. Acesso em: 02/09/2001

FIG. *Statement on the Cadastre*. International Federation of Surveyors, FIG Bureau, Canberra, Australia. 1995.

FUNDAÇÃO IBGE. *Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos*. Coletânea das Normas vigentes, Rio de Janeiro, 1998.

GALDINO, C. A. P. Cadastro Napoleônico. Seminário da disciplina Sistemas Cadastrais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. UFSC. Florianópolis, 2002.

GARCÍA, Eduardo José Martínez. *Relaciones Catastro – Registro*. Revista de Direito Imobiliário, n.48, janeiro/junho de 2000, p.151-174.

GEMAEL, Camil. *Introdução ao Ajustamento de Observações – Aplicações Geodésicas*. Editora UFPR. Curitiba, 1994. 319p.

HASENACK, Markus. *Originais de Levantamento Topográfico Cadastral – Possibilidade de sua utilização para a garantia dos limites geométricos dos bens imóveis*. Dissertação de Mestrado. UFSC. Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2000.

HENSSEN, Jo. *Basic Principles of the Main Cadastral Systems in the World*. FIG. 1995. Disponível em: <http://www.fig/.org.uk/Delft_seminar_95/paper2.html>. Acesso em: 21/05/2000.

HENSSEN, J. L. G. *Cadastre and its Legal Aspects*. In: First Joint European Conference and Exhibition on Geographical Information. Maastricht / the Netherlands. 1995.

IDOETA, I. *Cadastro Imobiliário e Registros Públicos*. Anais do VII CONEA. Salvador, 1996. p. 354-362.

INCRA. *Instrução Especial IE / INCRA 50 de 26/08/1997*. Atualiza os valores da fração mínima de parcelamento (FMP) dos municípios brasileiros.

INCRA. *Sistema de Informações Rurais – Módulo Cadastro Rural – Treinamento Operacional*. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Nov. 2000.

INCRA. *Normas Técnicas para Levantamentos Topográficos*. Ministério do Desenvolvimento Agrário – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Jun, 2001.

INCRA. *Manual de Orientação para Preenchimento da Declaração para Cadastro de Imóveis Rurais*. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Abril, 2002.

INCRA. *Normas Técnicas de Georreferenciamento de Imóveis Rurais*. Ministério do Desenvolvimento Agrário – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. 2003. (versão não consolidada)

ITESP. *Terra e Cidadãos: Aspectos da Regularização Fundiária no Estado de São Paulo*. n.4 . São Paulo: ITESP, 1998. 128p. Série Cadernos ITESP

ITESP. *Técnicas e Rumos: Sistemática Aplicada ao Cadastro Técnico Rural e Demarcação de assentamentos*. n.4 . São Paulo: ITESP, 1998. 58p. Série Cadernos ITESP

JACOMINO, Sérgio. *Registro e Cadastro – uma interconexão necessária*. Documentos do IRIB. Disponível em: <<http://www.irib.org.br/matricula.htm>>. Acesso em: 01/04/2000

KAUFMANN, J., STEUDLER, D. *Cadastre 2014 – A Vision for a Future Cadastral System*. FIG, Commission 7, July 1998. 51p.

LARSSON, Gerhard. *Land Registration and Cadastral Systems*. British Library Cataloguing in Publication Data. UK, 1991.

LASA. Cadastro Técnico de Imóveis Rurais – Metodologia. *Boletim Técnico*. Rio de Janeiro, 1975. 128p.

LONDE, Michael D. Standards and Guidelines for Cadastral Surveys Using Global Positioning Methods. In: XXII Congresso Internacional da FIG. Washington, DC USA, abr. 2002.

MCLAUGHLIN, J. *Maritime Cadastral Accuracy Study*. Land Registration and Information Service Technical Report. New Brunswick. Fredericton. Canada. 1977.

MCLAUGHLIN, J. *An Introduction to Cadastral Surveying*. Department of Surveying Engineering. University of New Brunswick. Canada, 1973. 102p.

MOLEN, P. van der. *Trends in Land Registry and Cadastre*. FIG, Brighton 1998.

MORAES, Carlito Vieira. *Aprimoramento da concepção do modelo geodésico para a caracterização de estremas no espaço geométrico*. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. UFPR. Curitiba. 2001.

NALINI, José Renato. *A Matrícula e o Cadastro no Registro Imobiliário*. Revista de Direito Imobiliário, n.37, jan/abr-1996. Disponível em: <http://www.irib.org.br/rdi/rdi37-017.htm>. Acesso em: 08/09/2000.

PEDRASSI, C.A. *Registro de Imóveis - aspectos gerais*. Anais do VII CONEA. Salvador, 1996. p384-390.

PINTO, Maria Madalena Ribeiro. *O Profissional com Procuração Pública como Responsável Técnico pelo Cadastro Imobiliário para fins de Registro Público*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFSC. Florianópolis, 2001.

PINTO, Maria Madalena Ribeiro, BRANDÃO, Artur Caldas, PHILIPS, Jürgen. *Credenciamento de Profissionais para o Levantamento Cadastral*. In: COBRAC 2002 - Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Anais em CD-ROM. Florianópolis, out/2002.

PHILIPS, Jürgen. *Fé Pública para as Coordenadas do Cadastro de Bens Imobiliários!*. IX Congresso Nacional de Engenharia de Agrimensura e Congresso Brasileiro de Cartografia. Anais. Porto Alegre, 2001.

PHILIPS, Jürgen. *Conceito de um Novo Cadastro de Bens Imobiliários - Moderno e Público*. VII Congresso Nacional de Engenharia de Agrimensura. Anais. Salvador, 1996a. Disponível em:

PHILIPS, J. *Os Dez Mandamentos para um Cadastro Moderno de Bens Imobiliários*. Anais do II COBRAC - Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico, II p170-183. Florianópolis, 1996b.

RAMBO, Luiz Inácio. *Retificação Administrativa de Limites, Confrontações e Áreas de Terrenos Urbanos junto ao Registro de Imóveis a partir de dados do Cadastro Imobiliário Urbano*. Dissertação de Mestrado. UFSC. Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2000.

ROCHA, Ronaldo S. *Exatidão Cartográfica para as Cartas Digitais Urbanas*. Tese de Doutorado. UFSC. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis, 2002.

ROMÃO, V.M.C., CARNEIRO, A.F.T., PHILIPS, J., SILVA, T.F. *Rede de Referência Cadastral Municipal - Uma proposta do Grupo de Trabalho de Cadastro Municipal do DECart – UFPE*. Anais do II COBRAC, II, 1996.

SALZMANN, M. A., HOEKSTRA, A. V., SCHUT, T. G. *Quality Issue in Cadastral Map Renovation*. Proceedings Workshop Quality Assurance in Large-Scale Mapping. JEC-GI'97, Vienna, April, 1997.

SALZMANN, Martin, HOEKSTRA, Auke, SCHUT, Ted. *Cadastral Map Renovation – a Dutch Perspective*. XXX FIG Congress. Brighton, 1998. Disponível em: <<http://geodesia.ufsc.br/Gutenberg/FIG/1998-brighton/Comm/Paper/SS34-Salzman.html>>. Acesso em: 02/08/2000.

SESSER, Miguel A. A. *Análisis del Anteproyecto de Ley Catastral*. In: Primeras Jornadas Catastrales del Mercosur. Santa Fé e Paraná – Argentina, 1999.

SILVA, Tarcísio Ferreira. *Um conceito de cadastro metropolitano*. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. UFPR. Curitiba, 1979. 112p.

SILVA, Tarcísio Ferreira, et al. *Necessidade do Engenheiro Cartógrafo no Cadastro de Limites de Propriedade*. COBRAC 98. Anais. Florianópolis, 1998. Disponível em: <<http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac98/052/052.htm>>. Acesso em: 07/08/2000.

SILVA, Edna L., MENEZES, Estera M. *Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação*. 3ª ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino à Distância da UFSC, 2000. 121p.

STEINBERG, Gershon. *Implementation of Legal Digital Cadastre in Israel*. In: FIG Working Week 2001. Seoul, Korea, May, 2001. Disponível em: www.fig.net/figtree/pub/proceedings/korea/full-papers/session10/steinberg.htm

TULADHAR, A.M. *Spatial Cadastral Boundary Concepts and Uncertainty in Parcel Based Information System*. In: Anais do International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, v. XXXI, Part B3, Vienna, 1996.

VONDERROHE, Alan. *Positional Accuracy Standart, Adjustments, and the Multipurpose Cadastre: Some Research Issue*. Surveying and Mapping, Vol.46, N.2, p.131-135.

WILLIAMSON, I.P. *A modern cadastre for New South Wales*. UNISURV REPORT S23, University of New South Wales, Kensington, Australia, 1983.

WILLIAMSON, Ian. *Surveying and Mapping Legislation – Lessons Learnt*. In: 6th United Nations Regional Cartographic Conference for the Americas, New York, 1997.

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

YANG, Chul-Soo, KIM, Sang-Soo. *The Expected Roles and Problems of GPS for Coordinated Cadastral Surveying, 1998*. Disponível em <http://www.sli.unimelb.edu.au/fig7/Brighton98/Comm7Papers/SS34-Yang.html>