



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**PROPOSTA METODOLOGICA PARA CONFEÇÃO DE BASE  
CARTOGRÁFICA A PARTIR DE DADOS ORIUNDOS DO  
SISTEMA LASER SCANNER**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, para a obtenção do Título de MESTRE em Engenharia Civil.

**LUANA SLOBODA**

Florianópolis, fevereiro de 2005

**Luana Sloboda**

**PROPOSTA METODOLOGICA PARA CONFEÇÃO DE BASE CARTOGRÁFICA A PARTIR DE DADOS ORIUNDOS DO SISTEMA LASER SCANNER**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

---

**Henriette Lebre La Rovere Dra. - Coordenadora do PPGEC**

**Comissão Examinadora:**

---

**Carlos Loch, Dr. – Orientador- UFSC**

---

**Jürgen Philips, Dr. - Ing. – Membro - UFSC**

---

**Alina G. Santiago, Dra. – Membro - UFSC**

---

**Simone S. Sato, Dra. – Membro – Satellite - Geo**

Florianópolis, SC – Fevereiro de 2005

*Dedico esta obra a quem sempre me deu amor, incentivo e educação,*

*meus pais, Nelson e Arlete, e  
meu marido Marlo.*

## AGRADECIMENTOS

A autora deseja externar seus agradecimentos aos professores, aos colaboradores abaixo relacionados.

Ao Professor e Orientador Dr. Carlos Loch, do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, que acreditou no potencial da pesquisa, obrigada pela confiança;

Ao Professor Dr. Jürgen Philips, do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, que apoiou a pesquisa, dando sugestões técnicas, obrigada pelo apoio;

Ao Professor Dr. Francisco Henrique de Oliveira, o qual foi profissional durante o desenvolvimento da pesquisa sugerindo alterações e propondo soluções inteligentes.

A amiga Danielle, que me apoiou dividindo os momentos de problemas e soluções. Muito obrigada pelos conselhos pessoais;

Aos amigos de Florianópolis, que colaboram com o meu crescimento profissional e pessoal;

Ao Engenheiro Maurício Muller, e a equipe da unidade tecnológica de informações georreferenciáveis do LACTEC, que contribuíram com o desenvolvimento da pesquisa;

Ao amigo Tiago Damas, pela colaboração, sugerindo grandes idéias, possibilitando a revigoração desta pesquisa;

Ao LabFSG – Laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento do Departamento de Engenharia Civil - UFSC, pelo apoio e suporte técnico;

Ao LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, que viabilizou a pesquisa disponibilizando os dados do Sistema Laser e ferramentas para o desenvolvimento da pesquisa;

Ao órgão nacional de fomento CAPES, que apoiou o mestrado subsidiando o segundo ano de estudo e pesquisa;

À Universidade Federal de Santa Catarina e ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Aos participantes da banca examinadora por aceitarem o convite e pelas sugestões recomendadas, objetivando engrandecer o trabalho e torná-lo de qualidade.

...“Valeu a pena”...  
Tudo vale a pena  
Se a alma não é pequena  
Quem quer passar além do Bojador  
Tem que passar além da dor  
Deus ao mar o perigo e o abismo deu,  
Mas nele é que espelhou o céu.”

**Fernando Pessoa**

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b> .....	x
<b>LISTAS DE TABELAS</b> .....	xi
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xii
<b>RESUMO</b> .....	xiv
<b>RESUMEN</b> .....	xv
<b>ABSTRACT</b> .....	xvi
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	01
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	02
2.1. OBJETIVO GERAL .....	02
2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO .....	02
<b>3. JUSTIFICATIVA</b> .....	03
3.1. LIMITAÇÃO DA PESQUISA .....	04
<b>4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	05
4.1. CARTOGRAFIA .....	05
4.1.1. Definição de cartografia .....	05
4.1.2. Bases cartográficas .....	05
4.1.2.1. Precisão e Exatidão .....	07
4.1.3. Sistema de Projeção Cartográfica .....	08
4.1.3.1. Sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) .....	08
4.1.4. Mapeamento Sistemático .....	10
4.1.5. Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) .....	12
4.1.6. Padrão de Exatidão Cartográfico .....	12
4.1.7. Planejamento físico-espacial .....	13
4.2. CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO .....	15
4.2.1. Histórico, Conceituação e finalidade .....	15
4.2.2. Cadastro Técnico Multifinalitário Rural .....	18
4.3. LASER SCANNER AEROTRANSPORTADO (LSA) .....	20
4.3.1. Considerações Gerais .....	20
4.3.2. Dados Históricos .....	21
4.3.3. Princípio de Funcionamento do LSA .....	22

4.3.4.	Componentes Básicos .....	24
4.3.5.	Produtos Gerados .....	26
4.3.6.	Aplicação dos Dados Laser .....	28
4.3.7.	Fabricantes do Sistema LSA .....	30
4.3.8.	Legislação Vigente .....	31
4.3.9.	Vantagens do Sistema Laser ALTM 2050 .....	32
4.3.10.	Comparação do Sistema Laser Scanner x Fotogrametria .....	32
<b>5.</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>34</b>
5.1.	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	34
5.2.	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA DE ESTUDO .....	37
5.3.	CONFRONTANTES À ÁREA DE ESTUDO .....	38
<b>6.</b>	<b>MATERIAL E MÉTODO .....</b>	<b>39</b>
6.1.	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS .....	39
6.2.	METODOLOGIA .....	40
6.2.1.	Etapa Realizada pelo LACTEC .....	42
6.2.1.1.	Planejamento da Cobertura Aérea .....	42
6.2.1.2.	Execução do Voo .....	43
6.2.1.3.	Processamento dos Dados Brutos do Laser .....	45
6.2.2.	Etapas Realizadas pela Autora da Pesquisa .....	48
6.2.2.1.	Geração das Imagens Laser .....	49
6.2.2.2.	Interpretação das Imagens Laser e Vetorização Plani-Altimétrica .....	50
6.2.2.3.	Classificação da Exatidão da Base Cartográfica Vetorizada .....	56
<b>7.</b>	<b>ANÁLISES E RESULTADOS OBTIDOS .....</b>	<b>60</b>
7.1.	ANÁLISE DO MDT E DO MDE .....	60
7.2.	ANÁLISE DA VETORIZAÇÃO PLANIMÉTRICA .....	61
7.3.	ANÁLISE DA VETORIZAÇÃO ALTIMÉTRICA .....	63
7.4.	RESULTADO DO LEVANTAMENTO DE CAMPO UTILIZANDO O MÉTODO GPS .....	63
7.5.	RESULTADOS DA COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE LEVANTAMENTO – GPS (CAMPO) E LASER SCANNER (GRÁFICO) .....	66
7.6.	ANÁLISES ESTATÍSTICAS DA COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS ..	73
7.6.1.	Teste de Tendência .....	73
7.6.2.	Teste de Precisão .....	74
7.6.3.	Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC .....	76

<b>8.</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>78</b>
8.1.	QUANTO AO ATENDIMENTO DO PEC PARA O PRODUTO DO LASER SCANNER .....	78
8.2.	QUANTO ÀS ANÁLISES ESTATÍSTICAS PARA O PRODUTO GERADO DO LASER SCANNER .....	79
8.3.	QUANTO AS VANTAGENS DO LASER SCANNER PARA A CONFECÇÃO DE UMA BASE CARTOGRAFIA .....	80
8.4.	QUANTO A APLICAÇÃO DO LASER SCANNER AEROTRANSPORTADO PARA A ÁREA DE CADASTRO TÉCNICO RURAL .....	80
8.5.	QUANTO AS APLICAÇÕES DO LASER SCANNER AEROTRANSPORTADO .....	81
8.6.	RECOMENDAÇÕES .....	81
<b>9.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>83</b>
	<b>ANEXOS 01 – BASE CARTOGRÁFICA VETORIZADA COM DADOS LASER ...</b>	<b>89</b>
	<b>ANEXOS 02 – CARTA IMAGEM DA HIPSOMETRIA .....</b>	<b>90</b>



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

art.	: Artigo
ALS	: Airborne Laser Scanning
ALTM	: Airborne Laser Terrain Mapper
ASCII	: American Standard Code for Information Interchange
CAD	: Computer Aided Design
CBC	: Congresso Brasileiro de Cartografia
CIM	: Carta Internacional do Mundo ao Milionésimo
COBRAC	: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário
COPEL	: Companhia Paranaense de Energia
CTM	: Cadastro Técnico Multifinalitário
CTMR	: Cadastro Técnico Multifinalitário Rural
DGPS	: Differential Global Position System
DHN	: Diretoria de Hidrografia e Navegação
DSG	: Diretoria de Serviço Geográfico
Ed.	: Edição
FIG	: Federação Internacional de Geômetras
GMT	: Greenwich Mean Time
GPS	: Global Position System
IBGE	: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICA	: International Cartographic Association
IMU	: Inertial Measure Unit
LACTEC	: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento
LIDAR	: Light Detection and Ranging
MDE	: Modelo Digital de Elevação
MDT	: Modelo Digital de Terreno
n.	: Número
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NAVSTAR	: Navigation System Time and Ranging
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
NT	: Norma Técnica
Org.	: Organizado
p.	: Página
PEC	: Padrão de Exatidão Cartográfica
RTCM	: Radio Technical Committee for Maritime Service
RTK	: Real Time Kinematic
SAD69	: South America Datum of 1969
SGB	: Sistema Geodésico Brasileiro
SGR	: Sistema Geodésico de Referência
SIG	: Sistema de Informação Geográfica
TBCD	: Tabelas da Base Cartográfica Digital

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFPR	:	Universidade Federal do Paraná
UFSC	:	Universidade Federal de Santa Catarina
UGGI	:	União Geodésica e Geofísica Internacional
UNESP	:	Universidade Estadual Paulista
UTM	:	Universal Transversa Mercator
v.	:	Volume
WGS	:	World Geodetic System of 1984

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\varphi$	:	Latitude geográfica
$\lambda$	:	Longitude geográfica
$h$	:	Altitude Ortométrica
$\lambda_0$	:	Longitude geográfica elipsóidica do MC
$E$	:	Abscissa do Sistema UTM (Leste)
$N$	:	Ordenada do Sistema UTM (Norte)
$H$	:	Vertical do Sistema UTM (Altitude Ortométrica)
$a$	:	Semi-eixo maior do elipsóide
$e$	:	Primeira excentricidade do elipsóide
$e'$	:	Segunda excentricidade do elipsóide
$K_0$	:	Coeficiente de redução de escala na projeção UTM
$f$	:	Achatamento do Elipsóide
$\Delta n$	:	Desnível Geoidal
$\Delta E$	:	Diferença entre as coordenadas E
$\Delta N$	:	Diferença entre as coordenadas N
$\Delta H$	:	Diferença entre as coordenadas H

## LISTA DE TABELAS

TABELA 01	– Escalas do Mapeamento Sistemático Brasileiro.....	11
TABELA 02	– Especificações do sistema laser de propriedade do LACTEC .....	25
TABELA 03	– Características Operacionais dos Sistemas de LSA .....	31
TABELA 04	– Comparação do Laser Scanner x Fotogrametria .....	33
TABELA 05	– Níveis usados na classificação dos objetos .....	55
TABELA 06	– Coordenadas do Levantamento de Campo .....	63
TABELA 07	– Coordenadas de Terreno x Coordenadas Gráficas .....	67
TABELA 08	– Tabela das Diferenças entre as Coordenadas de Terreno x Coordenadas Gráficas .....	69
TABELA 09	– Valores Planimétricos do Desvio Padrão e PEC Obtidos do Decreto-Lei 89.817 .....	72
TABELA 10	– Valores Altimétricos do Desvio Padrão e PEC Obtidos do Decreto-Lei 89.817 .....	72
TABELA 11	– Erro Médio e Desvio Padrão Observado das Diferenças .....	72
TABELA 12	– Valor Limite t para Análise de Tendência .....	73
TABELA 13	– Análise de Tendência .....	74
TABELA 14	– Valor Limite $\chi^2_{0,9}$ para Análise de Precisão .....	74
TABELA 15	– Análise de Precisão (Planimétrico) .....	75
TABELA 16	– Análise de Precisão (Altimétrico) .....	75
TABELA 17	– Valor Limite do PEC (Planimétrico) .....	76
TABELA 18	– Valor Limite do PEC (Altimétrico) .....	76
TABELA 19	– Valor PEC para os dados do LSA .....	76
TABELA 20	– Análise do PEC (Planimétrico) .....	77
TABELA 21	– Análise do PEC (Altimétrico) .....	77

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01	– Representação do primeiro e do segundo pulso laser .....	23
FIGURA 02	– Componentes do sistema de LSA .....	24
FIGURA 03	– Computador de Controle .....	26
FIGURA 04	– Sensor Laser .....	26
FIGURA 05	– Imagem de Intensidade .....	26
FIGURA 06	– Imagem de Hipsometria.....	26
FIGURA 07	– Modelo Digital de Elevação (MDE) .....	27
FIGURA 08	– Modelo Digital de Terreno (MDT) .....	27
FIGURA 09	– Modelo Tridimensional da Mata Atlântica .....	28
FIGURA 10	– Modelo Tridimensional Urbano .....	29
FIGURA 11	– Mapas de Enchente, Tempo Inicial .....	29
FIGURA 12	– Mapas de Enchente, Tempo Final .....	29
FIGURA 13	– Secção Transversal da Linha de Transmissão .....	31
FIGURA 14	– Centro de controle da Usina Hidrelétrica “Governador Parigot de Souza Barragem” .....	34
FIGURA 15	– Esquema de Aproveitamento Capivari – Cachoeira .....	35
FIGURA 16	– Localização da Área de Estudos .....	36
FIGURA 17	– Floresta Ombrófila Densa de Montanha .....	37
FIGURA 18	– Modelo do Arquivo de Ponto (MDT) no Formato ASCII .....	40
FIGURA 19	– Fluxograma da Metodologia da Confecção da Base Cartográfica .	41
FIGURA 20	– <i>Software</i> ALTM-NAV, para o Planejamento do Vôo .....	42
FIGURA 21	– Parâmetros de Vôo .....	43
FIGURA 22	– Gerenciamento do Plano de Vôo ALTM-NAV .....	44
FIGURA 23	– Fluxograma Completo do Processamento dos Dados Brutos do Laser .....	45
FIGURA 24	– Processamento dos Dados Brutos do Laser no <i>Software</i> REALM.	46
FIGURA 25	– Parâmetros do Programa TerraScan na Classificação da Nuvem de Pontos .....	47
FIGURA 26	– Fluxograma das Etapas Realizadas pela Autora da Pesquisa .....	48
FIGURA 27	– Importação do MDE no <i>software</i> APL QT Viewer .....	49
FIGURA 28	– Barragem da Usina Hidrelétrica “Governador Parigot de Souza” ..	50
FIGURA 29	– Diferenciação da textura e da forma na imagem Laser .....	51
FIGURA 30	– Vetorização dos Elementos Encontrados na Imagem .....	52
FIGURA 31	– <i>Software</i> InRoads, para geração automática das curvas de nível .	53
FIGURA 32	– GPS LEICA (SR 530) usado no Levantamento de Campo .....	57
FIGURA 33	– Comparação entre o Método de Levantamento GPS .....	58
FIGURA 34	– Imagem Ortogonal Hipsométrica .....	60
FIGURA 35	– Vetorização do Sistema Viário .....	61
FIGURA 36	– Vetorização das Edificações .....	62

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 37 – Vetorização da Hidrografia .....	62
FIGURA 38 – Suavização das Curvas de Nível .....	63
FIGURA 38 – Comparação Entre o Método de Levantamento de Campo – GPS com o Método Gráfico – Laser Scanner .....	66

## RESUMO

A presente pesquisa demonstra a metodologia para confecção de uma Base Cartográfica de grande escala, a partir de uma nova tecnologia – Laser Scanner Aerotransportado (LSA) – conhecido mundialmente como LIDAR (*Light Detection and Ranging*). A confecção da base cartográfica se deu a partir da classificação do Modelo Digital do Terreno (MDT) e do Modelo Digital de Elevação (MDE), obtidos do processamento da nuvem de pontos (X, Y, Z) oriundas do levantamento aéreo do Sistema Laser Scanner. Destes modelos, geraram-se uma imagem de intensidade, uma imagem de hipsometria e as curvas de nível da área de estudo. Através destas imagens, iniciaram-se a vetorização das feições determinadas como planimétricas para a confecção da base, utilizando como plataforma o *software* MicroStation. O resultado obtido da vetorização foi uma base cartográfica na escala 1:5.000. Em seguida realizou uma verificação da qualidade geométrica dessa base cartográfica. Para isto utilizou-se o PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica), sendo este, adotado como legislação vigente no país para classificação de produtos cartográficos quanto à precisão. O resultado obtido da classificação do produto Laser demonstrou-se satisfatório (padrão classe A), para escalas menores que 1:3.000, como por exemplo, 1:5.000, 1:10.000, entre outras, mostrando-se totalmente eficiente ao cadastro técnico rural.

Palavras-chave: Laser Scanner, Base Cartográfica e Padrão de Exatidão Cartográfica.

## RESUMEN

La presente pesquisa demuestra la metodología para confección de una Base Cartográfica de grande escala, a partir de una nueva tecnología – Láser Scanner Aerotransportado (ALS) – conocido mundialmente como LIDAR (*Light Detection and Ranging*). La confección de la base cartográfica se dio a partir da clasificación del Modelo Digital do Terreno (MDT) y del Modelo Digital de Elevación (MDE), obtenidos del procesamiento de la nube de puntos (X, Y, Z) oriundas del levantamiento aéreo del Sistema Láser Scanner. De esos modelos, se generaran una imagen de intensidad, una imagen de hipsometria y las curvas de nivel de la área de estudio. A través de estas imágenes, se empezaron la vectorización de las estructuras determinadas como planimétricas para la confección de la base, utilizando como plataforma el *software* MicroStation. El resultado obtenido de la vectorización fue una base cartográfica en la escala 1:5.000. Enseguida realizó una verificación de la cualidad geométrica de esa base cartográfica. Para ello, se utilizó el PEC (Padrón de Exactidón Cartográfica), utilizado como legislación vigente en el país (Brasil) para clasificación de productos cartográficos cuanto a la precisión. El resultado obtenido de la clasificación del producto Láser se mostró satisfactorio (padrón clase A), para escalas menores que 1:3.000, como por ejemplo, 1:5.000, 1:10.000, entre otras, mostrando-se totalmente eficiente al catastro técnico rural.

Palabras-clave: Láser Scanner, Base Cartográfica y Padrón de Exactidón Cartográfica.



## **ABSTRACT**

The present research shows a methodology for creating a large-scale cartographic base using LIDAR (Light Detection and Ranging) data. The cartographic base was created using classified Digital Terrain Model (DTM) and Digital Elevation Model (DEM) obtained by processing the point cloud data (X, Y, Z coordinates) acquired by an airborne Laser Scanner system. Hypsometric images and contour lines of the study area were derived from the models. An intensity image was also generated from the LIDAR data. Those images and features were taken to a MicroStation platform and used as background so that vectors could be screen digitized as planimetric features. The result of the digitizing produced a 1:5000 scale cartographic base which was verified for its geometric quality and accuracy. According to the Brazilian cartographic accuracy standards (PEC), the results were classified as satisfactory or class A for scales 1:3000 or smaller, p.e. 1:5000 or 1:10000, proving to be totally suitable for use in rural cadastre.

Keyword: Laser Scanner, Cartographic Base and Standard of Cartographic Exactness.

## 1. INTRODUÇÃO

Para atuar sobre o mundo real e dele explorar as suas riquezas, o homem precisou se aperfeiçoar em tecnologias e conhecimentos que pudessem tratar as unidades ambientais, não somente do ponto de vista de suas origens e funções, mas também de suas localizações, formas distribuições, escalas e limites.

A Cartografia tem, entre outras, a função de representar a superfície terrestre de forma clara e precisa, possibilitando, através da linguagem cartográfica, a identificação das características geométricas, da natureza e de outras particularidades dos objetos e fenômenos observados naquela superfície.

Com o avanço das tecnologias para a aquisição, processamento, produção e atualização cartográfica, a execução dos mapeamentos, tende a minimizar os custos e a diminuir o tempo de execução. A rapidez em coletar, tratar e disponibilizar os dados coletados, hoje, é um fator crucial ao usuário, possibilitando, assim, antever os prováveis efeitos da ação antrópica ou da natureza sobre o meio ambiente. Cada vez mais, novas técnicas, têm contribuído para a construção, interpretação e análise de mapas precisos.

Essas técnicas se baseiam fundamentalmente em realizar o levantamento de campo para obter as coordenadas da superfície terrestre, através de fotografias aéreas, GPS (Global Positioning System), imagens orbitais obtidas por satélites, imagens aéreas obtidos por scanner ativo, tais como: laser scanner e radar. A mais usual destas tecnologias para confecção e atualização cartográfica, é a fotogrametria. É proposto neste trabalho a utilização do Laser Scanner Aerotransportado (LSA) para gerar uma base cartográfica útil ao mapeamento cadastral rural com saída na escala 1:5.000. Demonstrando que é possível a partir dos dados Laser Scanner Aerotransportado gerar uma base cartográfica útil para os padrões de exatidão cartográfica – PEC, pois desse é possível gerar imagens de boa resolução para realizar a vetorização do terreno.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Demonstrar que é possível utilizar dados oriundos do Laser Scanner Aerotransportado (LSA) para confeccionar uma Base Cartográfica, confiável ao mapeamento cadastral, adequada para o gerenciamento rural (propriedade, talhão, caminhos, trilhas), atendendo ao padrão de exatidão cartográfica (PEC), com classe A.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Avaliar o atendimento do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), classe A, para o produto oriundo do LSA;
- b) Analisar as vantagens do Laser Scanner Aerotransportado para confecção de uma base cartográfica;
- c) Demonstrar a aplicação do Laser Scanner Aerotransportado para a área de cadastro técnico rural;
- d) Alertar aos usuários sobre as áreas de aplicações do Laser Scanner Aerotransportado;

### 3. JUSTIFICATIVA

Atualmente o Brasil encontra-se carente na qualidade de informações cartográficas confiáveis, isso se dá, devido à falta da consciência cartográfica do país.

A falta de exploração racional do espaço físico-territorial e sua respectiva organização, através de produtos cartográficos confiáveis, geram a problemática social e econômica do Brasil. Mediante o exposto, fica evidente que a base cartográfica é uma ferramenta indispensável, pois a mesma retrata a realidade física do terreno.

As técnicas para representação e traçado da superfície terrestre, evoluíram com o aperfeiçoamento tecnológico, cabe então, ao profissional na área de Cartografia explorar os métodos e buscar o melhor possível, visando precisão, produção e custo, para a representação da superfície terrestre.

Considerando o exposto, o trabalho procura demonstrar o potencial de uma nova técnica para confeccionar uma base cartográfica confiável, visando precisão, produção e custo para a representação da superfície terrestre e enfatizando sua potencialidade para execução de projetos aplicados ao cadastro técnico multifinalitário.

A técnica a ser utilizada nessa pesquisa para a confecção da base cartográfica será o Laser Scanner Aerotransportado. Esse sistema coleta dados espaciais (X, Y, Z) do terreno com precisão de 50 cm na planimetria e 15 cm na altimetria de forma muito mais rápida que os métodos tradicionais de campo, pois o sensor laser é adaptado em uma aeronave e pode cobrir uma grande área em algumas horas.

Observando a precisão dos dados do Laser Scanner Aerotransportado (LSA) e a possibilidade de gerar-se imagens ortogonais de alta resolução com esses dados, surgiu a idéia do uso do (LSA) como ferramenta para a geração de bases cartográficas com Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) classe A. Portanto a presente pesquisa pretende demonstrar uma metodologia para confeccionar uma base cartográfica na escala 1:5.000 para áreas rurais e avaliar se a classificação em relação ao PEC pode atender as exigências da classe A de mapeamento.

A natureza dos dados captados do LSA é diferente dos métodos tradicionalmente utilizados para gerar mapeamentos e por conseguinte atrativo no caso da possibilidade de captura de dados em vôos noturnos, cuja a condição meteorológicas são melhores. A motivação em realizar este trabalho é devido à natureza, distinta dos métodos tradicional.

A possibilidade de trabalhar com Laser Scanner Aerotransportado, para gerar produtos cartográficos, vem ganhando grande importância no mercado e pode ser apontada como uma alternativa viável e promissora para mapeamentos nacionais, possibilitando melhorias das técnicas que hoje dominam o mercado da Cartografia, como é o caso da Aerofotogrametria.

### 3.1 LIMITAÇÃO DA PESQUISA

Como já mencionado, a presente pesquisa objetivou mostrar o potencial de uma nova tecnologia para mapeamento nacional, enfatizando sua utilidade na confecção de base cartográfica de grande escala, aplicada ao cadastro técnico rural.

A tecnologia utilizada na pesquisa foi baseada no sistema a Laser Scanner ALTM 2050 desenvolvido pela empresa Optech, os quais ainda se apresentam para o mercado mundial como uma nova concepção de produção de cartografia.

No Brasil, as pesquisas e trabalhos realizados com esse tipo de Sistema, foram iniciados em meados de 2001, face ao fato do desenvolvimento e aplicação do sistema ser recente, por um histórico de poucos resultados ou de resultados ainda não significativos, de maneira que a necessidade de limitar a presente pesquisa;

A limitação se dá em relação à característica do Sistema Laser adotado, ou seja, aos parâmetros do Laser Scanner Aerotransportado ALTM 2050; estando essa diretamente relacionada à qualidade geométrica dos produtos cartográficos gerados.

Outra limitação está relacionada à interpretação e à classificação de produtos cartográficos gerados a partir dos dados oriundos do Sistema Laser Scanner, que ainda não se tem um método matemático/estatístico consagrado e ideal para classificá-lo quanto à exatidão cartográfica, dessa forma aplicou-se um método que atendesse o decreto lei nº 89.817, de 20/07/1984 obrigatório no Brasil e estudou-se métodos que ajudassem a realizar a interpretação da imagem.

## **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1. CARTOGRAFIA**

#### **4.1.1. Definição de Cartografia**

Conforme a definição adotada pela (ICA - International Cartographic Association), a cartografia compreende “o conjunto dos estudos e das operações científicas, artísticas e técnicas que intervêm a partir dos resultados de observações diretas ou de análise de documentações, visando a elaboração e preparação de mapas, plantas e outros modos de expressão, assim como de sua utilização”.

Segundo Oliveira (1993), a Cartografia, é a ciência da representação e do estudo da distribuição espacial dos fenômenos naturais e sociais, artísticos e técnicos. Baseados em resultados de observações diretas ou da análise de documentação e das transformações ao longo do tempo, mediante a representação cartográfica, em projetos e outras formas de expressão.

De acordo Silva e Telles (2002), a ciência cartográfica é muito importante para o estudo do meio ambiente em qualquer parte da superfície terrestre. Não se pode estudar o que não se conhece, é preciso então utilizar-se documentos cartográficos para: delimitar, estudar, monitorar e recuperar se for o caso um determinado espaço geográfico, e sobre tudo fazer prognósticos ambientais para ocasiões futuras.

#### **4.1.2. Base Cartográfica**

Base cartográfica deve ser entendida como um documento cartográfico das informações do mundo real, se constitui na representação de uma região da superfície terrestre no que diz respeito ao relevo, à drenagem natural, e ao sistema viário, devidamente posicionados ao um sistema de referência, numa escala compatível com a finalidade a que se destina, visando as necessidades do usuário.

Segundo Mello (2002), a base cartográfica deve representar exata e detalhadamente a posição, a forma, as dimensões e a identificação dos acidentes terrestres. Ela deve proporcionar ainda as relações métricas como; distância, ângulos, desníveis e áreas dos elementos geográficos descritos num mapa.

Conforme Cintra e Idoeta (2003), base cartográfica, para fins de engenharia, pode ser entendida como a representação de uma região do território no que diz respeito ao relevo, à drenagem natural, e ao sistema viário, com os elementos devidamente posicionados, com exatidão adequada a cada escala de representação, agregando outras informações do ambiente natural ou de fatores antrópicos necessários à sua utilização em atividades civis típicas de planejamento territorial e ambiental, gestão do território e projetos de engenharia.

A base cartográfica corresponde ao conjunto de objetos geograficamente referenciados a um determinado sistema de coordenadas.

Segundo Loch (1994) o mapa tem se tornado uma ferramenta indispensável no mundo desenvolvido, tornando-se uma das primeiras necessidades para se administrar, planejar ou estudar uma cidade, um município, ou região. Qualquer atividade de planejamento que tenha como referência o território deve utilizar de bases cartográficas para seus estudos.

Os mapas são absolutamente necessários para se conseguir com eficácia o planejamento do desenvolvimento econômico e uso dos recursos da terra (RENUNCIO, 1995).

Os principais fatores a serem levados em conta na concepção de bases cartográficas, é a seleção de escalas adequadas ao uso, sistemas de projeção, sistemas de representação, tecnologia, materiais a serem empregados e produtos a serem fornecidos, visando às necessidades do usuário. Tudo isto é equacionando a fatores como exatidão posicional, qualidade, preço e prazo, de maneira a definir escalas, métodos de posicionamento, métodos de representação, produtos intermediários e finais.

Segundo Brandão, Rocha e Philips (2001), a exatidão posicional ou exatidão posicional absoluta 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. Corresponde à elipse de erro pontual ou elipse de confiança pontual calculada no ajustamento em relação ao sistema de referência adotado pelo levantamento.

Segundo os mesmo autores, a exatidão posicional relativa entre dois pontos de um levantamento, refere-se 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.

A fim de melhor compreender tais fatores, se faz necessário que se recorra à análise de alguns conceitos. Entre eles:

#### 4.1.2.1 Precisão e Exatidão

Conforme Oliveira (1992), a precisão avalia o “grau de aperfeiçoamento no desempenho de uma operação ou na exposição de um resultado” e a exatidão avalia o “grau de conformidade” daquele resultado com uma norma ou padrão.

Ainda segundo o mesmo autor, a precisão relaciona-se, “à qualidade da execução de uma medição ou levantamento” em quanto a exatidão relaciona-se “à qualidade do resultado dele obtido”.

Segundo Vuolo 2002 (apud BRANDALIZE, 2004), “a exatidão, descreve quanto o resultado de uma medição está próximo do seu valor verdadeiro”. Um valor muito exato é, portanto um valor muito próximo do valor verdadeiro.

Segundo Ferreira e Oliveira (1994), a exatidão representa a medida da aproximação de uma certa estimativa em relação ao seu valor “verdadeiro”, ou a posição estatística entre uma estimativa e seu valor de referência. Contempla os erros aleatórios (acidentais) e sistemáticos. Já a precisão expressa o grau de aproximação das observações para um valor médio, retratando a dispersão destas observações. Refere-se aos erros aleatórios.

Valor verdadeiro é “um valor inteiramente livre de erros e enganos” (OLIVEIRA, 1993).

Segundo Gemael (1994), erros sistemáticos são produzidos por causas conhecidas, podendo ser evitado através de técnicas de medições e até eliminados, mediante o uso de modelos matemáticos conhecidos. Os erros sistemáticos mais comuns são aqueles introduzidos pelos instrumentos ou sistemas de medição.

Erros aleatórios ocorrem “devido às ações simultâneas e independentes de causas diversas e desconhecidas” (MENEZES, 1935).



### 4.1.3 Sistema de Projeção Cartográfica

Podem-se definir as projeções cartográficas como uma função matemática que relaciona os pontos de uma superfície, dita de referência (esfera ou elipsóide), a uma superfície dita de projeção (plana) (ROCHA,1998). As projeções cartográficas decorrem da impossibilidade de transformar a superfície curva da Terra no plano do mapa sem provocar rupturas, estiramentos, dobras e outras deformações imprevisíveis.

Conforme Oliveira (1993), o termo projeção é adotado para designar os métodos utilizados na representação da superfície terrestre.

A projeção cartográfica consiste de uma transformação matemática executada sobre os pontos da superfície curva terrestre, de forma a representá-los sobre o plano do mapa provocando um mínimo de deformações nos comprimentos, nas formas ou nas áreas. O modelo matemático teórico adotado para a Terra é um elipsóide de revolução.

A transformação dos pontos terrestres para o plano de projeção requer o estabelecimento de sistemas de coordenadas para garantir uma correspondência em ambas as superfícies. As coordenadas no modelo elipsóidico terrestre são expressas em termos de latitude e longitude geodésicas. As coordenadas no plano de projeção são expressas em um sistema cartesiano retangular com o eixo X positivo apontando para Este e eixo Y positivo apontando para Norte.

Existe uma grande diversidade de projeções cartográficas e inúmeras formas de classificá-las. As projeções, porém, são mais conhecidas pelos nomes das pessoas que as desenvolveram, tais como projeção transversa de Mercator, projeção conforme de Gauss, projeção de Robinson, entre outras.

O sistema de projeção adotado no Brasil para representação precisa das feições terrestres, será revisado no próximo item, aborda a projeção do tipo conforme, particularmente, Universal Transversa de Mercator (UTM), envolvida no estudo da pesquisa.

#### 4.1.3.1 Sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator (*UTM*)

O Sistema Universal Transverso de Mercator é recomendado pela União Geodésica e Geofísica Internacional (UGGI) e adotado pela Associação Internacional

de Geofísica e pelo Instituto Pan-americano de Geografia e História, entidades internacionais, às quais o Brasil está filiado, portanto, é adotada no Mapeamento Sistemático Brasileiro e no mapeamento de vários outros países do mundo (OLIVEIRA, F. 1996).

Segundo Gemael (1976), o sistema de projeção UTM é um sistema de representação plana do elipsóide terrestre que adota a projeção conforme de Gauss disciplinada por um conjunto de especificações mencionadas a seguir. Esse sistema surgiu para determinar coordenadas retangulares, designadas nesta projeção pelas letras E e N, abcissa e ordenada, respectivamente.

A projeção UTM quando comparada a outras projeções apresenta deformações muito pequenas em todos os aspectos (Blachut, 1974).

Especificações do sistema UTM:

- a) Projeção conforme de Gauss: mantém os ângulos e a forma das pequenas áreas. A superfície de projeção é um cilindro cujo eixo é perpendicular ao eixo polar terrestre. O cilindro de projeção é secante ao elipsóide de revolução, segundo dois meridianos, ao longo dos quais não ocorrem deformações de projeção ( $K=1$ ).
- b) O elipsóide terrestre é dividido em 60 fusos parciais de 6° de amplitude cada um, a partir do antimeridiano de Greenwich em coincidência com os fusos da Carta do mundo ao milionésimo.
- c) O coeficiente de redução máxima de escala ocorre ao longo do meridiano central do fuso e tem o valor constante
$$K_0 = 1 - \frac{1}{2.500} = 0.9996 \text{ (1 m para cada 2500 m).}$$
- d) Limitação do sistema até à latitude  $\pm 80^\circ$ , as áreas entre os meridianos de secância sofrem reduções de escala ( $K<1$ ), enquanto as áreas fora dos meridianos de secância apresentam a escala ampliada ( $K>1$ ).
- e) Eixos cartesianos ortogonais: transformadas do meridiano central e do equador (o equador é uma linha reta horizontal, o meridiano central é uma linha reta vertical, os paralelos são curvas de concavidade voltada para os pólos e os meridianos são curvas de concavidade voltadas para o meridiano central).

- f) Designação das coordenadas plano-retangulares pelas letras N e E (respectivamente ordenada e abscissa), acrescidas do número do Fuso e indicação do Hemisfério.
- g) Para evitar valores negativos as ordenadas são acrescidas no hemisfério sul da constante 10.000.000 metros e as abscissas são acrescidas da constante 500.000 metros. A origem do sistema cartesiano de coordenadas é formada pelo meridiano central do fuso (eixo Y) cujo valor é E=500.000,00 metros, e pelo Equador (eixo X) que tem valor N=0,00 metros, para coordenadas no hemisfério norte e N=10.000.000,00 metros, para coordenadas no hemisfério sul.

#### 4.1.4 Mapeamento Sistemático

O Decreto-Lei N° 243, de 28 de fevereiro de 1967, tem como finalidade o estabelecimento das diretrizes e bases das atividades cartográficas e correlatas, em termos de eficiência e racionalidade, no âmbito nacional, através da criação de uma estrutura cartográfica em condições de atender aos reclamos do desenvolvimento econômico-social do país e da segurança nacional (art. 1º).

Este mesmo decreto-lei institui que “a cartografia sistemática tem por fim a representação do espaço territorial brasileiro” deve ser feita “por meio de cartas elaboradas seletiva e progressivamente, consoante prioridade conjunturais, segundo os padrões cartográficos terrestres, náutico e aeronáutico (art. 7º).

No mapeamento sistemático são representadas informações relativas aos aspectos físicos do terreno (hidrografia, vegetação e relevo), e informações relativas à localização de obras públicas, edificações, rodovias, ferrovias e aeroportos. Contém, ainda, a toponímia dos acidentes geográficos e os pontos de controle geodésicos utilizados no mapeamento (IBGE, 2001a).

O Mapeamento Sistemático Nacional é de responsabilidade do IBGE, juntamente com o Ministério do Exército por meio da DSG (Diretoria do Serviço Geográfico). A Diretoria do Serviço Geográfico é responsável pelo mapeamento sistemático nas escalas de 1:250 000; 1:100 000; 1:50 000 e 1:25 000. O IBGE, além destas, é responsável pelo mapeamento nas escalas de 1:1 000 000 e 1:500 000.

As cartas elaboradas no Brasil devem seguir, também, as especificações da Carta Internacional do Mundo (CIM) ao milionésimo”. A Carta Internacional do Mundo ao milionésimo que cobre o espaço territorial brasileiro é constituída, por tanto, por 46 folhas de formato uniforme (quatro graus de latitude por seis graus de longitude), de característica topográfica (contempla acidentes naturais e artificiais, planimétricos e altimétricos) e representadas na escala 1:1.000.000 (BRANDALIZE, 2004).

Partindo das especificações da CIM, o referido decreto-lei determina que a Cartografia Sistemática Terrestre Básica seja configurada por meio de “séries de cartas gerais, contínuas, homogêneas e articuladas”, nas escalas-padrão abaixo discriminadas no tabela 01 (art. 8º).

Tabela 01 – Escalas do Mapeamento Sistemático Brasileiro

Série de 1:1. 000.000	Série de 1: 100.000
Série de 1: 500.000	Série de 1: 50.000
Série de 1: 250.000	Série de 1:25.000

O Artigo 12º preceitua o estabelecimento de um Sistema Plano-Altimétrico único, de pontos geodésicos de controle, materializados no terreno e, sobre os quais, devem apoiar-se, obrigatoriamente, todos os levantamentos destinados ao desenvolvimento da cartografia sistemática.

Assim, todas as cartas elaboradas no território brasileiro e que estejam compreendidas pelas escalas-padrão citadas acima, devem obedecer às Normas Técnicas (NT) estabelecidas pelos seguintes órgãos federais competentes: a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) “no que concerne à rede geodésica fundamental e às séries de cartas gerais nas escalas menores que 1: 250.000”; a diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG) “no que concerne às séries de cartas gerais nas escalas iguais a 1: 250.000 e maiores”; a Diretoria de Hidrografia e navegação (DHN)” no que concerne à as cartas náuticas de qualquer escala”; e, o Instituto Cartográfico da Aeronáutica (ICA) “ no que concerne às cartas aeronáuticas de qualquer escala”. (art. 15 § 1º)

#### 4.1.5 Sistema Geodésico Brasileiro (SGB)

Por definição, o Sistema Geodésico Brasileiro – SGB é composto pelo “conjunto de estações geodésicas implantadas na porção da superfície terrestre delimitada pelas fronteiras do país – estações estas que são determinadas por procedimentos operacionais e tem suas coordenadas calculadas, segundo modelos geodésicos de precisão compatível com as finalidades a que se destinam” (Pereira et al., 2003).

Um Sistema Geodésico de Referência (SGR), do ponto de vista prático, permite que se faça a localização espacial de qualquer feição sobre a superfície terrestre. O SGR é definido pela escolha de um elipsóide de referência e por um ponto de origem (datum) de onde se estabelece sua localização em relação com a forma física da terra (geóide).

#### 4.1.6 Padrão de Exatidão Cartográfico

De acordo com Nero e Cintra (2001), conhecer a qualidade geométrica de um documento cartográfico é muito importante para determinar se a informação que dele se extrai é útil e segura para a aplicação do usuário.

Mediante a essa necessidade da cartografia, o Brasil, desde a década de 80, ou mais precisamente desde o decreto-lei no 89.817, publicado no Diário Oficial da União em 20/06/84, estabeleceu normas que regulamentam e classificam os documentos cartográficos quanto à sua qualidade geométrica (Brasil, 1984).

O PEC – padrão de exatidão cartográfico nada mas é que um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos. Essa probabilidade corresponde a 1,6449 vezes o Erro-Padrão ( $PEC=1,6449*EP$ ). Vale destacar que esse decreto considera equivalentes os termos Erro-Padrão, Desvio-Padrão e Erro-Médio-Quadrático (Brasil, 1984).

O artigo 8º do decreto-lei no 89.817, estabelece que a forma de classificar um documento cartográfico quanto à sua exatidão, deve obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC), segundo o critério abaixo indicado:

- 1 - Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao PEC planimétrico estabelecido.*
- 2 - Noventa por cento dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao PEC altimétrico estabelecido.*

O artigo 9º do mesmo decreto, estabelece que as cartas, segundo sua exatidão, são classificadas nas Classes A, B e C, segundo os critérios seguintes:

**Classe A**

*Padrão de Exatidão Cartográfico - Planimétrico: 0,5 mm, na escala da carta, sendo de 0,3 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente.*

*Padrão de Exatidão Cartográfico Altimétrico: metade da equidistância entre as curvas de nível, sendo um terço o Erro-Padrão correspondente.*

**Classe B**

*Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico: 0,8 mm, na escala da carta, sendo de 0,5 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente.*

*Padrão de Exatidão Cartográfico Altimétrico: três quintos da equidistância entre as curvas de nível, sendo dois quintos o Erro-Padrão correspondente.*

**Classe C**

*Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico: 1,0 mm, na escala da carta, sendo de 0,6 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente.*

*Padrão de Exatidão Cartográfico Altimétrico: três quartos da equidistância entre as curvas de nível, sendo de metade desta equidistância o Erro-Padrão correspondente.*

O artigo 10º estabelece que seja obrigatória a indicação da classe do mapa no rodapé da folha, ficando o produtor responsável pela fidelidade da classificação.

Caso os documentos cartográficos não atinjam a especificação mínima (classe C), deverá ser incluída no rodapé da folha a indicação do Erro-Padrão resultante do processo de classificação.

#### 4.1.7 Planejamento Físico-Espacial

Ferrari (1989) define planejamento em um sentido amplo, como sendo um método de aplicação contínuo e permanente, destinado a resolver racionalmente os problemas que afetam uma sociedade situada em determinado espaço, em determinada época, através de uma previsão ordenada capaz de antecipar suas ulteriores conseqüências.

Orea (1978) conceitua planejamento, como um processo racional para a tomada de decisões, implicando, no entanto, numa reflexão quanto às condições sociais, econômicas e físicas ou ambientais, as quais fornecem subsídios às decisões e ações para o futuro. O planejamento físico compreende à regulamentação e distribuição do zoneamento urbano, à organização de estrutura física, à distribuição dos diferentes tipos de uso do solo.

De acordo com a Carta dos Andes (CINVA, 1960,) planejamento é um método de aplicação, contínuo e permanente, destinado a resolver, racionalmente, os

problemas que afetam uma sociedade situada em determinado espaço, em determinada época, através de uma previsão ordenada capaz de antecipar suas ulteriores conseqüências.

Sem o conhecimento do espaço físico é muito difícil seu gerenciamento técnico, que só é possível através de um planejamento adequado. Neste planejamento, deve-se levar em consideração as informações do mundo real, surgindo com isso à necessidade da base cartográfica atualizada.

## 4.2. CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO

### 4.2.1 Histórico, conceituação e finalidade

A origem do termo “Cadastro” vem da contração do termo em Latim “*Capitum registrum*” (lista fiscal), mas modernos dicionários derivam “cadastro” da palavra Grega “*katastikhon*” (lista, livro de anotações) um registro.

Na Europa a palavra “cadastro” vem significar uma classificação sistemática de avaliação da terra, sob o controle do governo central, representado por mapas de parcelas desenhados com embasamento de medições topográficas e armazenados de acordo com parcelas em um registro (HENSSSEN, 1971, apud LARSSON, 1991).

O primeiro levantamento e cadastramento sistemático para apoiar o planejamento urbano foi usado para a criação da cidade da Babilônia na Mesopotâmia (3º milênio a.C.). A área para a construção da futura cidade foi levantada por agrimensores do rei; a medição foi documentada mediante gravuras em barro. O levantamento foi a base para o planejamento e a construção sistemática da cidade. Os egípcios, na mesma época, criaram cadastros para garantir a devolução da mesma fatia de terra, que foi ocupada no ano anterior - antes das enchentes do Nilo, que a cada ano novamente destruíam todas as demarcações dos limites entre as propriedades agrárias. A função deste cadastro era então a garantia da propriedade imobiliária. O interesse do Estado era dar garantias jurídicas, evitar conflitos para apoiar um crescimento econômico em um ambiente de paz social. O sistema cadastral dos egípcios foi mantido, praticamente sem grandes modificações, até o século 19, quando o país foi ocupado e colonizado pelos Ingleses. (Philips, 2004).

O primeiro cadastro consistente e preciso, também com fins fiscais, foi estabelecido na Itália nas províncias de Milão e Mantua por volta de 1720. A Austrália entre 1785 e 1789, fez o mapeamento de todo seu território, inclusive da porção Húngara e em 1807, Napoleão Bonaparte, ordenou que fosse feito um levantamento topográfico geral dos países e estados ocupados para instalar um registro imobiliário com áreas exatamente calculadas, visando à arrecadação de impostos.

Cadastro é um inventário público de dados organizados metodicamente sobre propriedades dentro de um determinado país ou região, baseado em um levantamento de seus limites. Tais propriedades são sistematicamente identificadas por meio de algumas designações separadas. O perímetro da propriedade e do identificador de parcelas normalmente são mostrados em mapas em escala grande, que junto com os registros, podem mostrar para cada propriedade separada a natureza, o tamanho, o valor e os direitos legais associados com a parcela. O cadastro fornece uma resposta à questão onde e quanto (HENSSSEN, 1995).



Considerando o exposto, “cadastro” associa-se automaticamente com registros territoriais, para finalidades fiscais entre outras.

Segundo Philips (2004), no Brasil "cadastrar" é sinônimo para "registrar", e é usado para muitos objetos distintos como, por exemplo, "cadastros de clientes de lojas, bancos, entre outros". Para especificar que algum cadastro contém dados territoriais, precisamos acrescentar um atributo que explica a especialidade de tal cadastro como (cadastro urbano, cadastro rural, cadastro imobiliário, cadastro fiscal, e o cadastro técnico).

Segundo o mesmo autor, a maneira mais geral de especificar um cadastro como "territorial", é usar o atributo "técnico", com que se cria a referência com o método de levantamento e da coleta dos dados cadastrados. Estes métodos são as "técnicas" geodésicas, como: topografia, agrimensura, posicionamento por satélite, ajustamento, sensoriamento remoto, cartografia e outras.

De acordo com a declaração da FIG - Federação Internacional de Geômetras (2000), o Cadastro Técnico normalmente inclui uma descrição geométrica das parcelas em conjunto com outros registros que descrevem a natureza dos interesses, a propriedade ou o controle desses interesses, e freqüentemente o valor da parcela e suas benfeitorias. Pode ser estabelecido para propósitos fiscais (por exemplo, avaliação e taxação eqüitativa); para propósitos legais (transferências); para ajudar na administração e uso da terra (por exemplo, no planejamento e outros propósitos administrativos), e permite o desenvolvimento sustentável e a proteção ambiental.

Uma exigência moderna para a implantação de um cadastro é que ele servirá não apenas para uma única finalidade, o cadastro poderia fornecer todas as informações gráficas e descritivas, atendendo múltiplos fins, sendo este um "cadastro técnico multifinalitário".

Conforme Blachut (1974), Cadastro Técnico Multifinalitário deve ser entendido como um sistema de registro da propriedade imobiliária, feito de forma geométrica e descritiva, constituindo-se desta forma, o veículo mais ágil e completo para a parametrização dos modelos explorados de planejamento, sempre respaldados quanto à estruturação e funcionalidade. É imprescindível que as informações sejam posicionadas espacialmente em relação à superfície terrestre global da área de interesse.

Segundo Loch (1990), o cadastro técnico multifinalitário – CTM é a base para qualquer tipo de planejamento municipal ou regional, uma vez que, disponibiliza ao planejador todos os elementos que caracterizam a área de interesse. O cadastro é um passo decisivo para a organização das propriedades imobiliárias e a regularização de posses do município, sendo, portanto o ponto de partida para os projetos de planejamento físico-espacial.

Para Bähr (1982), a implantação de um sistema cadastral depende da condição sócio-econômica do país. A economia e o adensamento populacional interferem diretamente na qualidade de vida. Para planejar e administrar essa qualidade de vida, as informações a respeito da distribuição das unidades imobiliárias, do uso e ocupação do solo, dos meios de circulação, entre outras, são fundamentais para canalizarem as decisões políticas. Assim estas informações devem estar expostas não somente em forma descritiva, mas também em mapas.

O Cadastro Técnico Multifinalitário possibilita formar a base das informações necessárias a implementação de política de regularização fundiária; a implementação da política de justa tributação; a redução dos litígios e conflitos originados pela incerteza ocupacional e/ou dominial; o conhecimento e administração de recursos naturais, da força de trabalho, das necessidades e potencialidades de determinadas áreas; enfim permite trabalhar a partir do real conhecimento das peculiaridades e condições locais (BITENCOURT; LOCH, 1998).

De acordo com Silva (1979), os objetivos do CTM são os seguintes: cobrança justa de impostos; garantia da propriedade imobiliária; facilidade e economia nos processos de desapropriações legais; fiscalização da execução de planos de desenvolvimento regional para obras em geral; geração de dados espaciais para um sistema de informações; geração de um inventário de terras; geração de uma base física para as operações de serviços públicos, permitir acuidade no planejamento, permitir o mapeamento das instalações de subsolo e áreas em escala compatível com as necessidades, permitir a atualização cadastral, agir como meio de estabelecimento e manutenção de desenvolvimento e regulamentação técnica.

RUTHKOWSKI (1987), explica que o cadastro é um conjunto de informações que permite a qualquer pessoa, órgão ou empresa conhecer a realidade de um imóvel tanto a nível geométrico, dimensões, superfície, localização, como também ao uso deste mesmo imóvel.

#### 4.2.2 Cadastro Técnico Multifinalitário Rural (CTMR)

O Cadastro Rural foi instituído pelo Estatuto da Terra em 1964 a qual regulava os direitos e obrigações concernentes aos bens imóveis rurais, entre outros previa a execução de reforma agrária e promoção da política agrícola e assegurava a todos a oportunidade de acesso à propriedade da terra, condicionada pela sua função social.

O Cadastro Técnico Multifinalitário Rural é um sistema de informação da terra, e pode ser definido como uma combinação de recursos técnicos, humanos, junto com um conjunto de procedimentos organizacionais, que geram informações para dar suporte ao processo de tomada de decisão (DALE E MACLAUGHLIN, 1990).

Segundo Loch (1990), o Cadastro Técnico Multifinalitário Rural, assim como o Urbano, deve ser fundamentado numa base cartográfica compatível com a demanda pela terra.

Os mapas, um instrumento visual da percepção humana, têm sido utilizados como fonte primária de informação, sendo indispensável para o planejamento e ordenamento do uso eficaz dos recursos da Terra. No contexto do Cadastro Técnico Multifinalitário, são ferramentas fundamentais para elaborar análises e procedimentos técnicos.

Segundo Oliveira (1996), os mapas que devem compor o CTMR são: o mapa planialtimétrico, o mapa de estrutura fundiária, mapa do solo e o uso atual do solo.

O mapa planialtimétrico é a representação cartográfica das curvas de nível, possibilita visualizar o terreno e avaliar as diferenças de nível da área de estudo.

Dale & McLaughlin (1990) consideram-no o ponto de partida para qualquer processo de planejamento econômico ambiental do uso do espaço físico territorial. Pode ser utilizado para gerar outros produtos, tais como: classes de altitude através da leitura do mapa; classes de declividade baseado em cálculos; mapa de declividade e aptidão de uso da Terra, entre outros.

O mapa de estrutura fundiária se caracteriza por representar o perímetro dos imóveis, mediante imagens formadas pela justaposição das propriedades individuais, procedimento que permite visão panorâmica e simultânea da estrutura fundiária (Zampieri et al., 2000).

Segundo Loch (1993), a estrutura fundiária mostra a forma, dimensões e localizações de cada propriedade, enquanto que a rede hidrográfica é quem define as condições de acesso a cada propriedade.

Segundo o mesmo autor, o conhecimento da estrutura fundiária é pré-condição para qualquer processo de reforma agrária. Para proceder à melhoria da estrutura fundiária faz-se necessário remanejar as propriedades, adequando-as ao formato da micro bacia hidrográfica. Portanto, a estrutura de ocupação espacial tem fortes reflexos sobre as funções econômicas, ambientais e sociais do espaço territorial.

O mapa de solos permite identificar as formas do relevo, drenagem e a vegetação, traduz a verdade sobre o atual uso do solo, possibilita, ainda, identificar diferentes coberturas do solo, tais como: florestas nativas, áreas de lavouras anuais ou perenes, áreas de pastagens, corpos d'água ou solos descobertos (LOCH, 1993).

No entanto, existem outros mapas derivados desses: declividade do solo, aptidão do uso solo, capacidade de uso do solo, conflitos, zoneamentos, geotécnico e outros específicos.

O mapa de uso atual do solo, comparado com o mapa de aptidão de uso permite verificar a tecnologia utilizada nas áreas, o potencial das terras que está sendo utilizado para obter os melhores resultados, ou se o uso e as práticas atuais estão contribuindo para o desgaste das potencialidades do solo (SEIFFERT, 1996).

As escalas de trabalho para os mapas citados anteriormente, geralmente são na escala 1: 10.000 para áreas rurais, mas é conveniente que sejam gerados mapas em escalas menores para que se tenha uma visão sinóptica da área (LOCH, 1990a).

### 4.3 LASER SCANNER AEROTRANSPORTADO (LSA)

#### 4.3.1 Considerações Gerais

Segundo Dubayah et al. (2000), os termos LIDAR e “altimetria laser” têm atualmente o mesmo significado, embora originalmente fossem considerados distintos. Estes mesmo autores afirmam, ainda, que existe um senso comum crescente no sentido de rotular todas as observações laser da superfície terrestre como “altimetria laser” (*laser altimetry*) e todas as observações laser da atmosfera terrestre como LIDAR.

Conforme Ackermann (1999), Baltsavias (1999) e Wehr & Lohr (1999), associam o termo “varredura laser” (*laser scanning*) à técnica e o termo “varredor laser” (*laser scanner*) ao instrumento ou sistema, fazendo a distinção entre os utilizados em levantamentos terrestres (posicionados sobre a superfície do terreno em plataforma fixas ou móveis), os utilizados em levantamentos aéreos (abordo de aeronaves) e os utilizados em levantamentos espaciais (abordo de espaçonaves ou satélites artificiais).

Jonas & Byrne (2003), afirmam que tanto as técnicas de perfilamento como as de varredura (terrestre e aérea) anteriormente mencionadas estão compreendidas pela tecnologia LIDAR. Estes mesmos autores afirmam, ainda, que os norte-americanos preferem o emprego do termo LIDAR ao termo *Airborne Laser Scanning* (ALS), usualmente empregado em outras partes do mundo.

Considerando o exposto, o Laser Scanner Aerotransportado (LSA) conhecido mundialmente como LIDAR (*Light Detection and Ranging*), apresenta-se para o mercado mundial como uma nova concepção de produção cartográfica, seu emprego, para fins de mapeamento, possui várias terminologias, tais como:

- a) Laser Scanner Aerotransportado;
- b) Perfilamento a Laser;
- c) Mapeamento a Laser;
- d) Altimetria a Laser;
- e) Sistema Aerotransportado a Laser para Mapeamento do Terreno.

A fim de evitar confusão com a terminologia, ao longo da pesquisa, sempre que houver uma referência à tecnologia Laser Scanner Aerotransportado, o termo “LSA” será utilizado.

O LSA é um sistema de sensoriamento remoto ativo aerotransportado usado para modelar a superfície terrestre, levantando pontos tridimensionais sobre a superfície do terreno, bem como os objetos (vegetação e construções) nela contida.

Para levantar os pontos tridimensionais sobre a superfície do terreno o LSA, utiliza o princípio da velocidade da luz para medir a distância entre o Sensor Laser e a Superfície Terrestre.

#### 4.3.2. Dados Históricos

O desenvolvimento da tecnologia LSA deu-se a partir da necessidade de usuários obterem informações tridimensionais da superfície do terreno, ou seja, Modelo Digital do Terreno (MDT) e Modelo Digital de Elevação (MDE).

Na década de 70 uma associação entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e o NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), deu início num programa para coleta de dados atmosféricos, oceanográficos e topográficos, por meio de sistemas de sensoriamento remoto a laser denominado LIDAR (*Light Detection and Ranging*).

Conforme Brandalize (2004) existem três tipos de sistemas LIDAR ou LSA, no mercado:

- a) LIDAR topográfico: utilizados na determinação das coordenadas tridimensionais absolutas de pontos e/ou objetos situados sobre a superfície do terreno;
- b) LIDAR batimétricos: determina a profundidade de corpos d'água (como rios, mares e oceanos);
- c) LIDAR atmosférico: utilizados na determinação da velocidade dos componentes da atmosfera terrestre (gases, vapor d'água, partículas em suspensão) e a velocidade dos ventos.

A tecnologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa foi realizada no sistema LIDAR Topográfico, os quais ainda se apresentam para o mercado mundial como uma nova concepção de produção de cartografia.

Segundo Lillesand & Kiefer (2000), o LIDAR topográfico é um sistema ativo que opera radiação laser pulsada com comprimentos de onda únicos (normalmente na faixa do infravermelho), em direção à superfície do terreno, tem por objetivo a determinação

das elevações desta superfície. É normalmente utilizado em plataformas aéreas (avião ou helicóptero), embora também possa ser utilizado em plataformas terrestres e espaciais.

Por volta de 1993, pesquisadores da “*Deutsche Forschungsgemeinschaft*” – Alemanha deram início as experiências com o Laser Scanner Aerotransportado, levando à criação da TopScan GmbH. Mais tarde, em conjunto com a empresa Optech Inc. – Canadá, a TopScan GmbH obteve o primeiro projeto demonstrativo da técnica de LSA (WEVER et al, 1999).

Em meados da década de 90, havia apenas uma empresa comercializando e desenvolvendo sistemas de LSA, já as empresas e os institutos de pesquisa especializados na utilização de dados laser eram poucas. Já no último levantamento de mercado realizados no ano 2000, constataram-se mais de cinco fabricantes que produzem sistemas completos ou componentes para o sistema.

Em 2003 realizou-se um levantamento de mercado, foram enumeradas mais de 25 empresas que adquiriram tais sistemas, no caso do Brasil existem três empresas que possuem este sistema, a Esteio Engenharia e Aerolevantamentos S.A. de Curitiba-PR no ano de 2001, como o modelo ALTM 2025; a Geoid LTDA de Belo Horizonte-MG em 2002, com o modelo ALTM 1225; e o Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC de Curitiba – PR em 2002, com o modelo ALTM 2050, sendo todos fabricados pela empresa Canadense Optech Inc (FLOOD, 2003).

Também foram contabilizadas nesta pesquisa do ano de 2002, dez empresas trabalhando com o LSA em regime de locação, além dos cinco sistemas de testes e demonstrações de empresas fabricantes. Assim, quantificaram, aproximadamente, 59 sistemas fabricados e distribuídos no mundo inteiro. A concentração, destes sistemas LSA, está localizada, na Europa, nos Estados Unidos, no Canadá, no Japão, na Austrália, na África do Sul e mais recentemente, no Brasil (BALTSAVIAS, 1999b).

#### 4.3.3. Princípio de Funcionamento do LSA

Seu princípio de funcionamento está baseado na emissão de feixe laser infravermelho que é disparado em direção à superfície terrestre. Na superfície, estes feixes são refletidos por obstáculos (construções, vegetação ou o próprio terreno) e são captados pelo sensor. Para cada feixe emitido é registrado o tempo de percurso

aeronave – obstáculo – aeronave. A partir do tempo de percurso do laser é possível determinar a distância. A atitude da aeronave é constantemente registrada pelo IMU (*Inertial Measure Unit*), e esses dados também são levados em conta para produzir uma posição tridimensional do ponto da superfície da Terra que foi atingido por cada pulso laser.

Como a área de cobertura de cada feixe é variável de acordo com a altitude, é possível que uma porção do mesmo feixe laser encontre um ou mais objetos antes de atingir o solo, como a figura 01. Esses encontros geram um retorno parcial do feixe, denominado de primeiro retorno. O laser scanner armazena dados tanto do primeiro retorno como também do último retorno. De posse desses dois tipos de informações, é possível gerar modelos digitais da superfície terrestre a partir de ambos os retornos, ou seja, Modelo Digital de Elevação (MDE), ou só do último retorno, ou seja, Modelo Digital de Terreno (MDT).

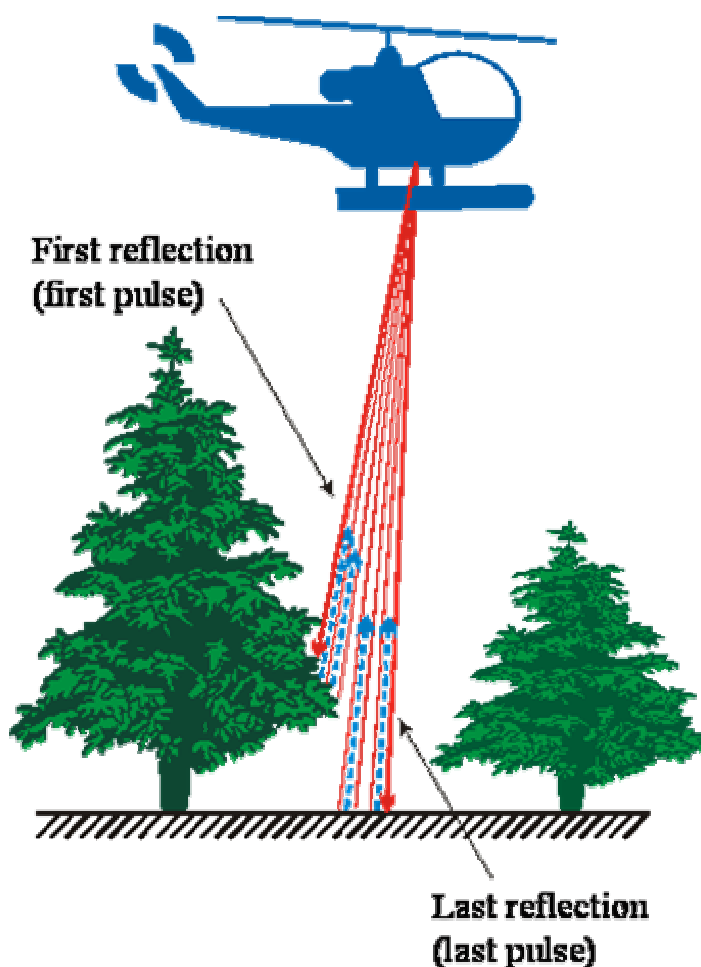


Figura 01 – Representação do primeiro e do segundo pulso laser  
Fonte: OPTEN (2004).

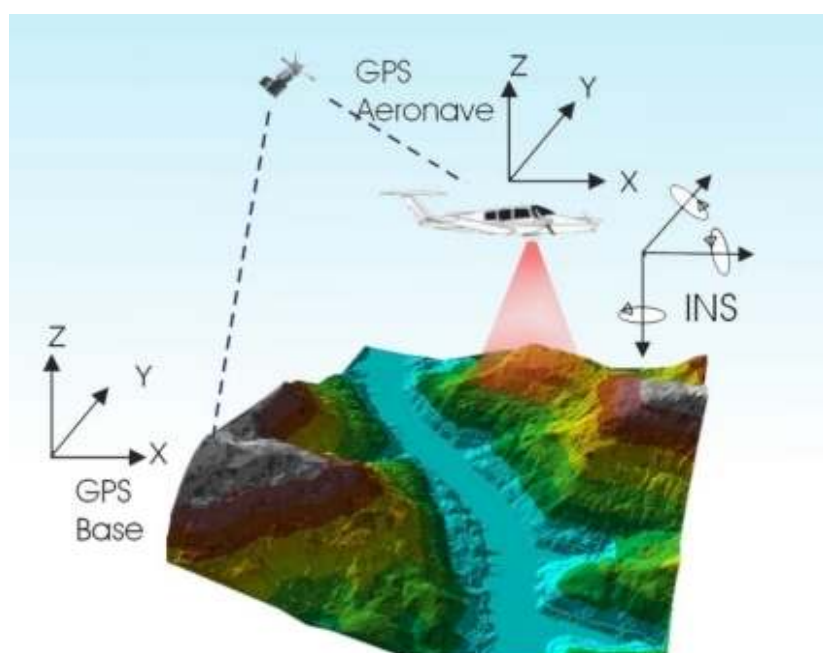


#### 4.3.4. Componentes Básicos

Os sistemas de Laser Scanner Aerotransportado, tiveram sua tecnologia inicial muito bem concebida, sendo produtos resultantes da integração de tecnologias essenciais para o seu funcionamento. Ackermann (1999), afirma que a técnica foi estabelecida com sucesso, devido o aprimoramento da tecnologia integrada ao sistema.

Os componentes básicos do sistema de LSA são os seguintes: Sensor Laser, composto pela fonte do pulso LASER, sistema ótico de transmissão e recepção do pulso laser; Unidade de Medição Inercial, ou seja, IMU (*Inertial Measure Unit*), receptor GPS (*Global Position System*); Computadores de bordo com programas para gerenciamento de todo o sistema; Unidade de armazenamento dos dados brutos provenientes do GPS, do IMU e das medições laser (tempos e ângulos), conforme figura 02.

Além dos componentes acima descritos é necessário que haja mais um componente fundamental, o GPS de base, para que os dados do laser sejam pós-processados e corrigidos em relação ao referencial adotado para o mapeamento, conforme figura abaixo.



Figuras 02 – Componentes do Sistema LSA.  
Fonte: LACTEC (2004)

Cabe ressaltar que a quantidade de bases GPS instaladas no mapeamento é característica da extensão e da forma da superfície que está sendo levantada, sendo às vezes necessário mais de uma estação GPS de base.

Além dos componentes básicos de vôo e campo, são necessários programas de processamento para completar a solução do sistema de LSA, entre os quais estão os programas para descarga dos dados brutos, os programas de pós-processamento dos dados GPS, ou seja, a trajetória da aeronave, e os programas de processamento dos dados laser. Os componentes básicos apresentados nesta pesquisa são específicos do sistema desenvolvido pela empresa canadense Optech Inc., já que os equipamentos encontrados no Brasil são desta empresa.

No entanto, os componentes gerais de funcionamento e operação de um sistema de LSA podem ser aplicados à maioria dos modelos comerciais existentes, já que a empresa Optech é uma das fundadoras desta tecnologia.

O sistema de LSA adotado para pesquisa é o modelo ALTM 2050<sup>(1)</sup>, suas especificações técnica são demonstradas na tabela 02 e pelas figuras 03 e 04 a seguir.

<b>Descrição do sistema</b>	<b>Característica</b>
Modelo do equipamento	ALTM 2050
Fabricante do equipamento	Optech
Ano de fabricação	2002
Freqüência do pulso laser	50.000 pulsos por segundo – 50kHz
Freqüência de varredura	Variável de 1Hz a 100Hz
Ângulo de varredura	Variável 0° a 40°
Sistema Inercial (IMU) / GPS	Applanix
Capacidade de armazenamento	36 GigaBytes
Software da operação de vôo	ALTM-NAV (Optech)
Software do processamento	REALM (Optech)
Tipo de coleta de dados	Primeiro e último retorno do pulso
Densidade de pontos	Variável de 400.000 de 4.000.000
Número de pontos por m <sup>2</sup>	Variável de 1 a 4 pontos
Precisões	50 cm na planimetria e 15 cm na altimetria

Tabela 02 – Especificações do sistema laser scanner aerotransportado ALTM 2050.

Fonte: Optech about ALTM System.

<sup>1</sup> Pertence ao Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC, situado em Curitiba – Paraná.



Figura 03 – Computador de Controle  
Fonte: LACTEC (2004)



Figura 04 – Sensor Laser  
Fonte: LACTEC (2004)

#### 4.3.5. Produtos Gerados

A partir do processamento dos dados brutos adquiridos em vôo e em campo, através do GPS da aeronave, IMU da aeronave, medidas do laser (tempo e ângulos) e GPS de campo (base de referência), é possível gerar a nuvem de pontos tridimensionais (X, Y, Z) georreferenciados no Sistema Geodésico Brasileiro – SGB.

A partir da nuvem de pontos tridimensionais, gerados pelo sistema de LSA, é possível classificá-la nos seguintes produtos: Modelo Digital de Elevação – MDE, conforme figura 07; e Modelo Digital do Terreno – MDT conforme figura 08, além da geração das imagens de intensidade e hipsometria (Jardim Botânico Curitiba – PR), representadas nas figuras 05 e 06 abaixo.

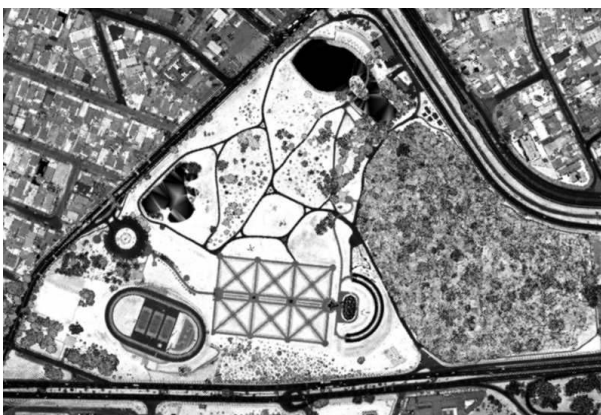


Figura 05 – Imagem de Intensidade

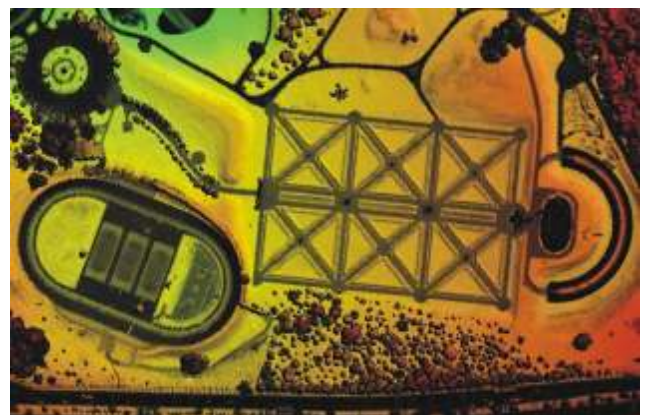


Figura 06 – Imagem de Hipsometria

O MDT trata dos pontos que representam o terreno, enquanto o MDE trata dos pontos que representam as elevações contidas na superfície (Tomaselli & Santos 2000).

De acordo com Maune et al. (2001):

- a) O Modelo Digital de Elevação – MDE é uma grade de valores de elevação (z) regularmente em x e y, referenciada a um *datum* (horizontal e vertical) e a um sistema de coordenadas, que representa a superfície do terreno como um todo com a vegetação e as feições artificiais;
- b) O Modelo Digital de Terreno – MDT é uma grade de valores de elevação (z) regularmente em x e y, referenciada a um *datum* (horizontal e vertical) e a um sistema de coordenadas, que representa a superfície nua do terreno, excluindo a vegetação e as feições artificiais, como edificações, postes, torres, muros, cercas, etc, enfim, tudo que for apresentado “elevado” na superfície do terreno.



Figura 07 – Modelo Digital de Elevação (MDE)

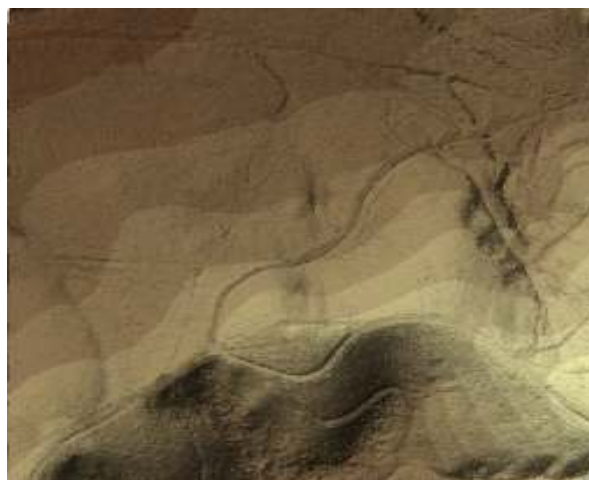


Figura 08 – Modelo Digital de Terreno (MDT)

A partir do MDE e MDT, proveniente do LSA é possível confeccionar diversos produtos cartográficos para fins diversos, como exemplo, mapeamento planialtimétrico, mapeamento altimétrico, mapeamentos de áreas de enchente, declividade do terreno, drenagem do terreno, mapeamento temático de áreas de desmatamento, mapas de intensidade e hipsometria, mapas volumétricos da vegetação ou do terreno, base de dados espaciais para Sistema de Informação Geográfica – SIG; além de produzir dados para gerar seções transversais; entre outros (Martins, 2004).

#### 4.3.6. Aplicações dos Dados Laser

Existem várias aplicações na cartografia que requerem medidas tridimensionais de objetos da superfície terrestre e que necessitam atender requisitos de rapidez e exatidão, tais como:

- a) Na área de telecomunicações, onde os Modelos Digitais de Elevação – MDE permitem estudos de propagação de ondas e posicionamento de antenas receptoras e transmissoras, tais como:
- b) Na área de geologia, para o cálculo de volumes escavados, cálculo de massa florestal, volumes deslocados e modelagem de grandes estruturas artificiais;
- c) Em obras viárias (rodovias e ferrovias), para projeto ou para detecção rápida de interferências na faixa de domínio, cálculo de volumes de corte e aterro;
- d) Na engenharia florestal, para determinação de volume e altura de vegetação, estimativa de biomassa, além de remoção virtual de cobertura vegetal, conforme figura 09;

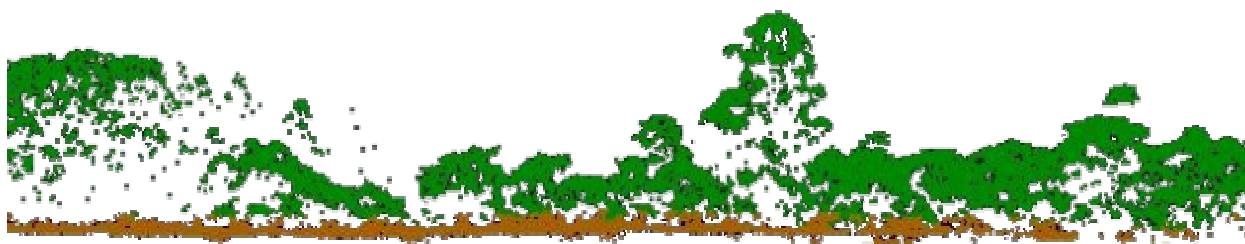


Figura 09 – Perfil do Modelo Tridimensional da Mata Atlântica

- e) Nos modelos tridimensionais urbanos, para cálculos de volume de feições artificiais, corredores urbanos formado por edifícios em vias preferenciais, estudos de micro clima, propagação de ruídos, controle de inundação, drenagem, saneamento e poluentes ver figura 10;

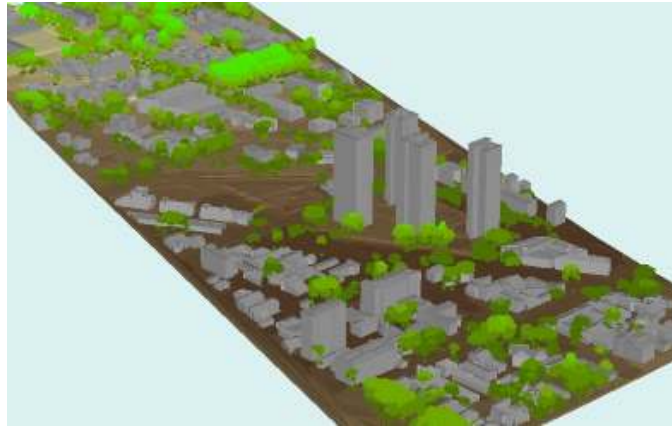


Figura 10 – Modelo Tridimensional Urbano

- f) Estudos específicos de corredores, como dutos, linhas de transmissão possibilitando a obtenção de perfis com boa qualidade;
- g) Na área de mapeamento cartográfico, como base de dados para áreas rurais e urbanas para utilização no sistema de informações geográficas – SIG;
- h) Na área de modelos tridimensionais aplicadas em cálculos de carga hidráulica de barragens em épocas de cheia ou baixa de reservatórios, rompimento de barragem, controle de inundações, modelagem de bacias hidrográficas, drenagem, e monitoramento de erosão conforme figura 11 e 12;



Figura 11 – Mapas de Enchente, Tempo Inicial

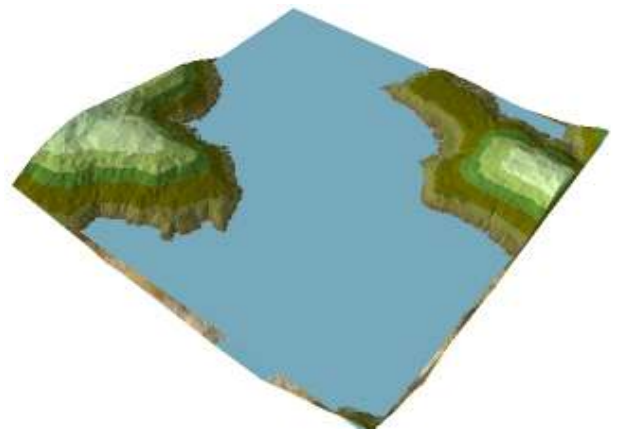


Figura 12 – Mapas de Enchente, Tempo Final

- i) Recapacitação das linhas de transmissão, para localização de interferência de árvores e outras estruturas na faixa de domínio, posicionamento de torres e modelagem de catenária de cabos (talvez a

mais distinta aplicação, pois a identificação de pequenos objetos como cabos é muito mais difícil na fotografia aérea) ver figura 13;

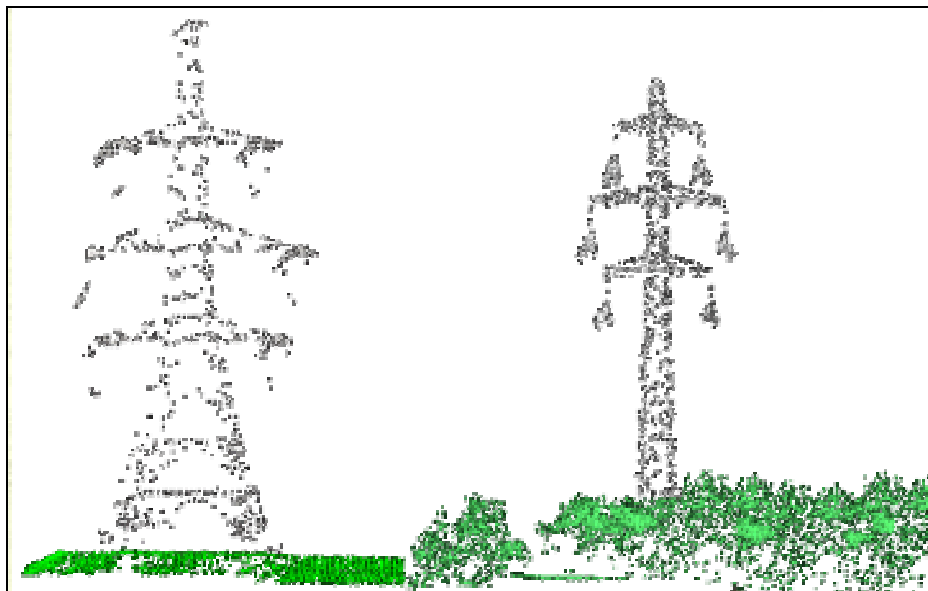


Figura 13 – Secção Transversal da Linha de Transmissão  
Fonte: OPTEN (2004)

#### 4.3.7. Fabricantes dos sistemas LSA

Segundo FLOOD (2003), os fabricantes dos sistemas de LSA, mundialmente conhecidos são:

- a) LEICA GEOSYSTEMS (1998 – Suíça): Responsável por 18,6% dos sistemas comercializados no mercado mundial, o modelo mais recente foi lançado em 2003 ALS50;
- b) TOPOSYS GMBH (1995 – Alemanha): Responsável por 24,4% do total de sistemas em operação no mundo, em 2003 foi lançado o modelo Falcon;
- c) OPTECH INC. (1995 – Canadá): Responsável por 48,8% dos sistemas comercializados no mercado mundial, o modelo mais recente ALTM 3100 foi lançamento em 2004.

A tabela 03, a seguir, descreve as características dos últimos modelos operacionais no mundo. No Brasil, existem três empresas proprietárias da tecnologia Laser, todas pertencente ao fabricante canadense OPTECH Inc.

Descrição	FABRICANTES		
	TOPOSYS	OPTECH	LEICA
Modelo Analisado	FALCON	ALTM 3100	ALS50
Frequência do pulso Laser	83 KHz	25 KHz até 100 KHz	15 KHz até 52 KHz
Altitude de Operação do Laser	500 m até 1600 m	80 m até 3.500 m	500 até 4.000 m
Retorno por Pulsos	2	4	3
Princípio do Scaneamento	Fibra ótica	Espelho	Espelho
Padrão de Varredura	Linhas Paralelas	Dente de Serra	Senoidal
Frequência do Scaneamento	650 Hz	Variável	Variável
Ângulo do Scaneamento	14°	0° até 50°	0° até 75°
Largura máxima da faixa	120 m até 390 m	25 m até 3.000 m	90 m até 4870 m
Precisão Horizontal	50 cm	50 cm	50 cm
Precisão Vertical	15 cm	15 cm	15 cm
Densidade máxima de pontos por m <sup>2</sup>	3 até 5	3 até 6	2 até 4
Registro de Intensidade	Possível	Sim	Sim
Capacidade de armazenamento	4 horas de vôo	4 horas de vôo	12 horas de vôo
Vida útil do Laser	3.000 horas	3.000 horas	3.000 horas
Voltagem de entrada	28 Volt	28 Volt	28 Volt
Distância entre os GPS de referência	30 - 60 Km	20 - 40 Km	< 100 Km
Sensor Digital - RGB	Sim	Não (opcional)	Não (opcional)
Quantidade de Equipamento Vendida	1	42	16

Tabela 03 – Características Operacionais dos Sistemas de LSA  
Fonte: LEICA GEOSYSTEM (2003), TOPOSYS (2003) e OPTECH (2004)

#### 4.3.8. Legislação Vigente

O artigo 1º do Decreto Lei nº 1.177/71, de 21 de junho de 1971, determina que a execução de aerolevanteamento no território nacional é de competência de organizações especializadas do governo federal, estadual e de instituições privadas”.

O artigo 3º desse mesmo decreto define aerolevanteamento como:

*O conjunto das operações aéreas e/ou espaciais de medição, computação e registro de dados do terreno com o emprego de sensores e/ou equipamentos adequados, bem como a interpretação dos dados levantados ou sua tradução sob qualquer forma.*

Assim, segundo o Ministério da Defesa, o sistema de LSA configura-se como aerolevanteamento e como tal é controlado pela legislação vigente. Portanto, a aeronave e o equipamento precisam estar homologados no Departamento de Aviação Civil para esta atividade, e a empresa deve estar inscrita no Ministério da Defesa, sendo obrigatória uma licença específica para realização do trabalho (BRASIL, 1971).



#### 4.3.9. Vantagem do Sistema Laser ALTM 2050

Como o LSA levanta pontos diretamente no terreno, o modelo digital do terreno gerado não tem escala de vôo, mais sim uma precisão de 50 cm na planimetria e 15 cm na altimetria.

As imagens de intensidade e as imagens hipsométricas (intensidade + altitude) geradas pelo laser são totalmente digitais e ortorretificadas, tanto ao nível do solo como ao nível das edificações, com uma resolução de 20 cm até 1 m. Essa condição de ortogonalidade das imagens permite ao usuário realizar uma “vetorização” planimétrica diretamente sobre as imagens.

Para qualquer aplicação que exija modelos digitais de elevação com alta densidade, alta resolução e precisão da ordem do decímetro, o LSA oferece capacidade técnica “ímpar”, baixo tempo de processamento e conseqüentemente baixo custo operacional, se comparado às formas tradicionais de levantamentos de dados da superfície terrestre.

O sistema de LSA, é um método ativo que não depende da luz visível refletida, tem uma alta densidade de pontos coletados, e conseqüentemente, altíssima redundância na descrição discreta dos objetos, sendo possível gerar modelos digitais tridimensionais densos e precisos.

Permite realizar o controle de qualidade e cobertura da área durante a coleta dos dados. Caso seja necessária uma correção é possível realizá-la durante vôo, não precisando de um pós-processamento para verificação.

A exatidão das coordenadas é homogênea, ou seja, a qualidade dos pontos depende apenas da distância do laser ao objeto e da distância da aeronave da base de controle.

Assim, essa tecnologia está atualmente revolucionando o campo da topografia, tanto no âmbito nacional como internacional, trazendo grande agilidade aos mapeamentos e novas soluções de engenharia.

#### 4.3.10. Comparação do sistema Laser Scanner x Fotogrametria

O emprego da fotogrametria e do LSA tem como principal objetivo: coletar coordenadas tridimensionais de pontos remotos, sem tocá-los. A análise, a seguir,

demonstra a capacidade das duas técnicas em levantar uma nuvem de pontos tridimensionais da superfície terrestre, apontando a vantagem de uma em relação a outra conforme apresentado na tabela 04.

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>LASER SCANNER</b>	<b>FOTOGAMETRIA</b>
<b>Sensor</b>	Sistema Ativo Sensor pontual	Sistema Passivo Sensor linear
<b>Dados</b>	Aquisição direta de coordenadas (x,y,z), coletado digitalmente e processada automaticamente	Aquisição da informação de forma indireta
<b>Altitude de voo</b>	Baixa (até 5 km)	Baixa (até 5 km) e Média (5 a 10 km)
<b>Obstáculos</b>	- Condições climáticas: Nuvens baixas, chuva, névoa.	- Condições climáticas: Nuvens em geral, chuva, névoa; - Inclinação do Sol; - Uso noturno.
<b>Problemas</b>	Provoca áreas de sombras devido à inclinação do sinal emitido	Provoca áreas de sombras na presença de declividades intensas

Tabela 04 – Comparação do Laser Scanner x Fotogrametria  
Fonte: BALTSAVIAS (1999c).

## 5. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo da presente pesquisa encontra-se no Rio Capivari, na Usina Hidrelétrica “Governador Parigot de Souza – Barragem”, de propriedade da Companhia Paranaense de Energia – COPEL, ver figura 14, estando aproximadamente 50 km de distância do município de Curitiba nas proximidades da BR-116, direção Curitiba – São Paulo.



Figura 14 – Centro de controle da Usina Hidrelétrica “Governador Parigot de Souza – Barragem”

### 5.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Usina Hidrelétrica “Governador Parigot de Souza – Barragem” está inserida na bacia hidrográfica Atlântica, localizada na porção leste do estado do Paraná, que em nosso estado compreende as terras drenadas pelo Rio Ribeira e pelos rios do Litoral.

O Rio Ribeira resulta dos rios Ribeirinha e Açungui, cujas nascentes se encontram na zona norte do primeiro planalto paranaense. Seu curso dirige-se para leste até penetrar em terras paulistas, onde é conhecido em seu trecho inferior com o nome de Ribeira de Iguape (WONS, 1982).

Principais afluentes: Santa Ana, Ponta Grossa e o Pardo e em seu braço o Capivari, todos pela margem direita; Turvo e Itapirapuã pela margem esquerda.

O Rio Capivari teve suas águas represadas pela Usina Hidrelétrica “Governador Parigot de Souza” e passou a correr também para o Rio Cachoeira através de um túnel sob a porção norte da Serra do Mar Paranaense, obtendo um desnível de 754 m, para gerar energia elétrica ao litoral paranaense – 250 Mw, conforme figura 15.



Figura 15 – Esquema de Aproveitamento Capivari – Cachoeira.

A bacia possui uma área de aproximadamente 15.876 Km<sup>2</sup>, compreendendo as microrregiões de Curitiba, Litoral Paranaense e Alto Ribeira.

Apresenta como divisores de águas ao norte e a oeste a escarpa devoniana, ou seja, serra de São Luiz do Purunã, ao sul a Serra de Iquiririm (divisa dos estados do Paraná com Santa Catarina) e a leste o Oceano Atlântico.

A barragem da Usina Hidrelétrica “Governador Parigot de Souza” está localizado no Estado do Paraná, Brasil, e apresenta como limites as coordenadas geográficas de 25°07'30,0" e 25°08'45,0" de Latitude Sul e 48°54'22,5" e 48°50'37,5" de Longitude Oeste, conforme apresentado na figura 16.

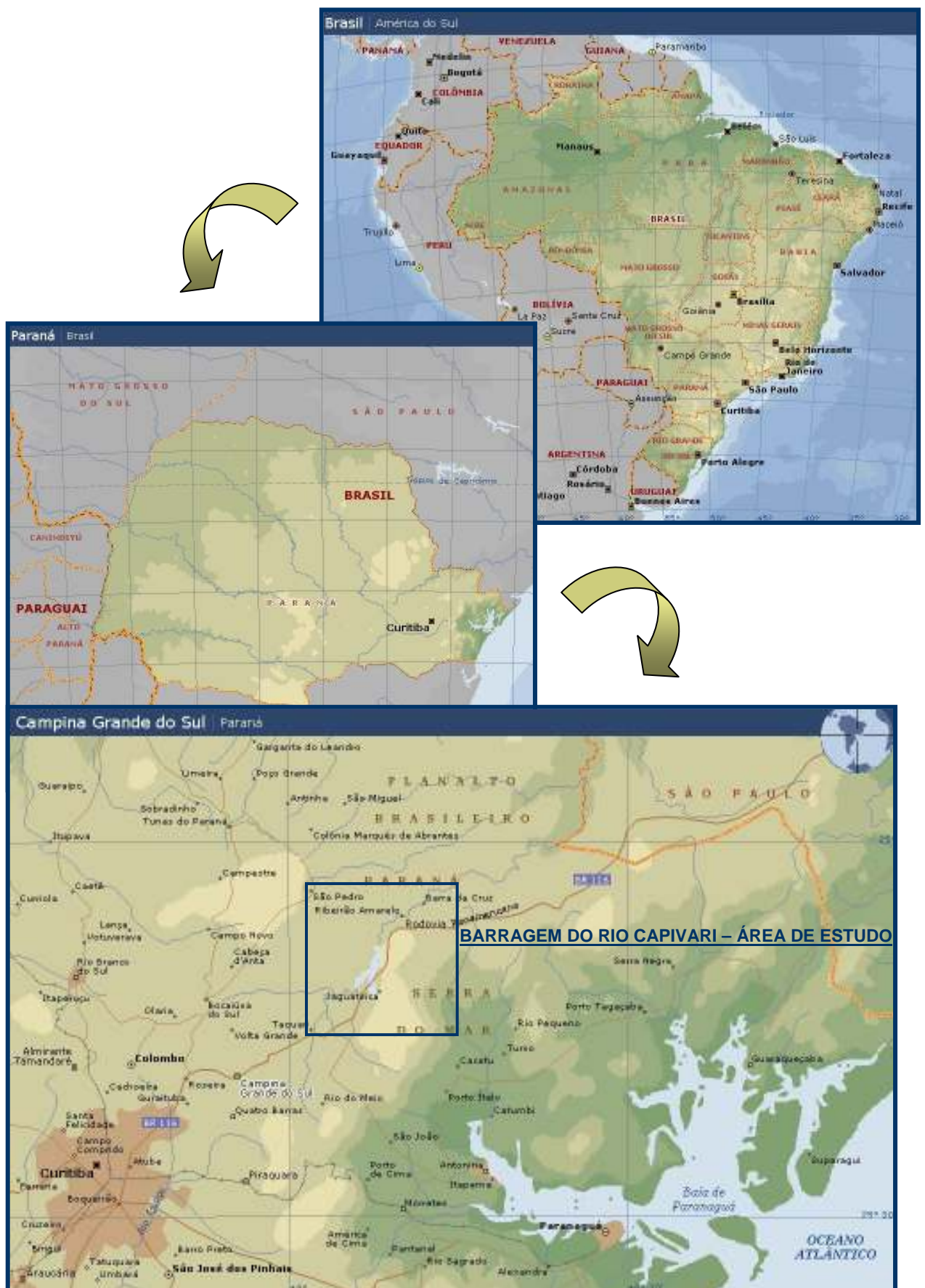


Figura 16 – Mapa de Localização da área de estudo

## 5.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA DE ESTUDOS

A bacia hidrográfica do Atlântico corresponde a 8% do total de bacias hidrográficas do Paraná. Suas nascentes se encontram no 1º Planalto Paranaense, este limitado a leste pela serra do Mar, e a oeste pela escarpa devoniana.

O extrato geológico presente é o Grupo Açungui (Pré-Cambriano Superior), apresentando rochas Calcárias, Mármore, Dolomito e Filito.

Na área ocorrem vários tipos de solos que atuam não somente com o clima da região, mas também com os processos hidrológicos. Desta maneira seu estudo é de extrema importância para qualquer tipo de análise em bacia hidrográfica.

Podemos dividir basicamente em três tipos de solos: sedimentares recentes, compreendem os solos arenosos e argilosos da planície litorânea e os solos formados pelas águas fluviais; sedimentares antigos, compreendem os solos resultantes da decomposição das rochas calcárias; e de origem cristalina, compreendem os solos resultantes da decomposição das rochas de granito e gnaiss, localizadas junto a Serra do Mar e no Planalto de Curitiba.

As vegetações predominantes na região é a Floresta Ombrófila Mista (ver figura 17). Abrange todo o primeiro Planalto intercalado com florestas de Araucária (*Angustifolia*).



Figura 17 – Floresta Ombrófila Mista

Sua composição florística é intensamente variada tendo a presença de samambaias arborescentes, bromélia, além de figueiras, jerivás e palmitos (*Euterpe edulis*). Devido aos desmatamentos, grande parte de sua composição original foi alterada, gerando desequilíbrios irreversíveis neste bioma. Este processo se dá em grande parte, devido a extração intensa de madeiras nobres pertencentes a esta floresta que tem grande valor comercial para o mercado. Os cortes ilegais também ajudam no processo degenerativo podendo causar inclusive extinções de espécies vegetais e animais.

Atualmente, em grande parte das áreas desmatadas encontram-se campos de pastagens e culturas agrícolas. O clima da região está inserido no contexto geral do clima sul brasileiro.

O clima da região segundo a classificação de Köppen<sup>2</sup> apud Maack (1981), é Cfb, onde C corresponde a climas pluviais temperados com mês frio entre (- 3° C e 18° C), f corresponde ao clima sempre úmido com chuva todos os meses do ano e b corresponde a temperatura do mês quente, inferior a 22° C. Os fatores que influenciam neste tipo climático são principalmente a posição geográfica e o relevo.

### 5.3. CONFRONTANTES À ÁREA DE ESTUDO

Os principais confrontantes para a barragem da Usina Hidrelétrica “Governador Parigot de Souza” e seu reservatório são os seguintes: pela margem direita (município de Campina Grande do Sul) o acesso a barragem é feito, a partir da cidade de Curitiba pela rodovia BR-116, sentido Curitiba – São Paulo; e pela margem esquerda (município de Bocaiúva do Sul) a partir de estradas vicinais.

---

<sup>2</sup> O sistema de classificação climática definida por Köppen, utiliza-se de um sistema de letras, onde cada uma caracteriza um padrão climático.

## 6. MATERIAL E MÉTODO

### 6.1. MATERIAIS e EQUIPAMENTOS

Os materiais relacionados e descritos a seguir, foram fundamentais para que a pesquisa proposta se concretizasse, fazendo parte destes materiais um conjunto de ferramentas que permitiram aplicar uma série de técnicas consideradas de alta tecnologia para a cartografia atual, mais especificamente, para a geração da base cartográfica.

Os materiais utilizados para o desenvolvimento da pesquisa foram cedidos pelo Instituto de Tecnologia para o desenvolvimento – LACTEC, localizado em Curitiba no Estado do Paraná, com o intuito de incentivar a pesquisa e ampliar o conhecimento dos pesquisadores e profissionais da área cartográfica quanto ao atual emprego da tecnologia LSA na área de cartografia. Estes materiais são:

#### **a) Aquisição dos dados Laser**

1. Sistema de LSA, modelo ALTM 2050;
2. *Software* ALTM-NAV, versão 2.0.43 (2004);

#### **b) Processamento dos dados brutos do Laser**

3. Computador DELL (9200), com dois processadores INTEL de 2 GHz cada um, memória RAM de 2 GB, Placa Gráfica 3D de 128 MB e monitor de 21" tela plana;
4. *Software* Extract Disc, versão 6.7.3 (2003);
5. *Software* APPLANIX, versão 4.24.37 (2002);
6. *Software* REALM, versão 3.0.2 (2002);
7. *Software* TerraScan, versão 4.0.6 (2004);

#### **c) Geração das Imagens de Intensidade e de Hipsometria**

8. Computador DELL (Latitude), com processador INTEL de 2 GHz, memória RAM de 1 GB, Placa Gráfica 3D de 128 MB e monitor de 14,1" matriz ativa;
9. *Software* APL QT Viewer, versão 2.10.20 (2003);



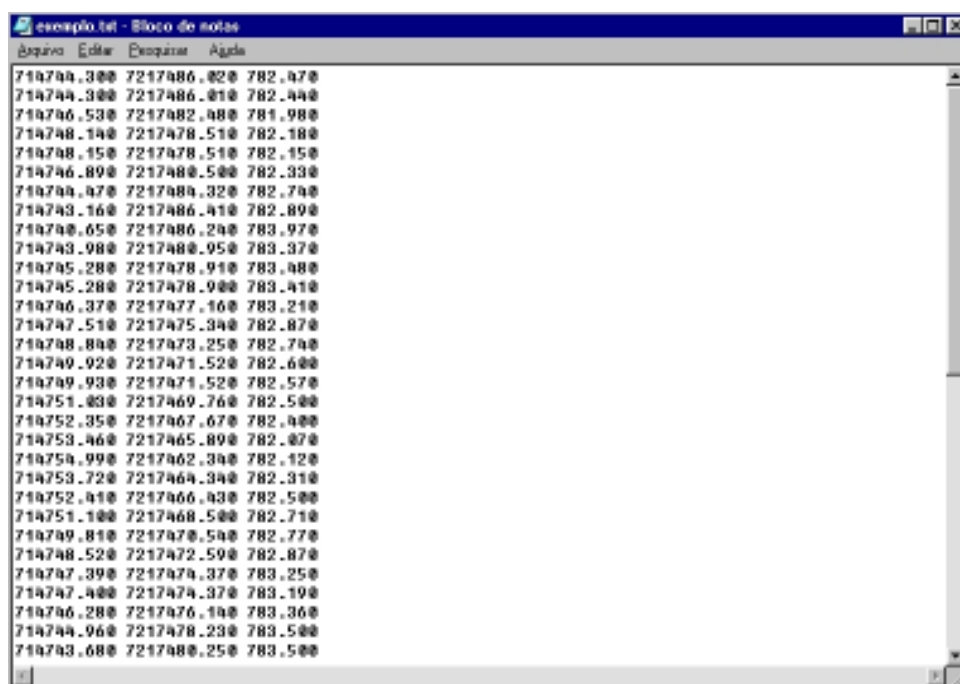
#### d) Geração da Base Cartográfica

10. CPU Celeron, com processador INTEL de 2 GHz, memória RAM de 192 MB, Placa Gráfica 3D de 32 MB e monitor de 15" tela plana;
11. *Software* MicroStation V8, versão 08.00.02.20 (2002);
12. *Software* InRoads, versão 08.03.00.00 (2003);

#### e) Levantamento Topográfico

13. GPS LEICA, modelo SR 530;
14. *Software* SKI-PRO, versão 2.5.0.0 (2004);

Também foram cedidos os dados oriundos do sistema de LSA, ou seja, coordenadas de pontos (X, Y, Z) no formato ASCII (apresentado na figura 18) da área de estudo descrita no capítulo 5.



```
escaplo.txt - Bloco de notas
Arquivo Editar Pesquisa Ajuda
714744.300 7217486.020 782.470
714744.300 7217486.010 782.440
714746.530 7217482.480 781.980
714748.140 7217478.510 782.180
714748.150 7217478.510 782.150
714746.890 7217480.500 782.330
714744.470 7217480.320 782.740
714743.160 7217486.410 782.890
714740.650 7217486.240 783.970
714743.980 7217480.950 783.370
714745.280 7217478.910 783.480
714745.280 7217478.900 783.410
714746.370 7217477.160 783.210
714747.510 7217475.340 782.870
714748.840 7217473.250 782.740
714749.920 7217471.520 782.600
714749.930 7217471.520 782.570
714751.030 7217469.760 782.500
714752.350 7217467.670 782.400
714753.460 7217465.890 782.070
714754.990 7217462.340 782.120
714753.720 7217464.340 782.310
714752.410 7217466.430 782.500
714751.100 7217468.500 782.710
714749.810 7217470.540 782.770
714748.520 7217472.590 782.870
714747.390 7217474.370 783.250
714747.400 7217474.370 783.190
714746.280 7217476.140 783.360
714744.940 7217478.230 783.500
714743.680 7217480.250 783.500
```

Figura 18 – Modelo do Arquivo de Ponto (MDT) no Formato ASCII

## 6.2. METODOLOGIA

A metodologia descrita a seguir, aborda todo o processo para o desenvolvimento da pesquisa, que consiste na obtenção de uma base cartográfica a partir de dados do LSA. Esta metodologia se dá em duas etapas: a primeira das etapas foi realizada pela empresa LACTEC, e a segunda, realizada pela autora no desenvolvimento da pesquisa. Toda a metodologia utilizada na execução desta pesquisa está sintetizada na forma de fluxograma, conforme apresentado na figura 19.

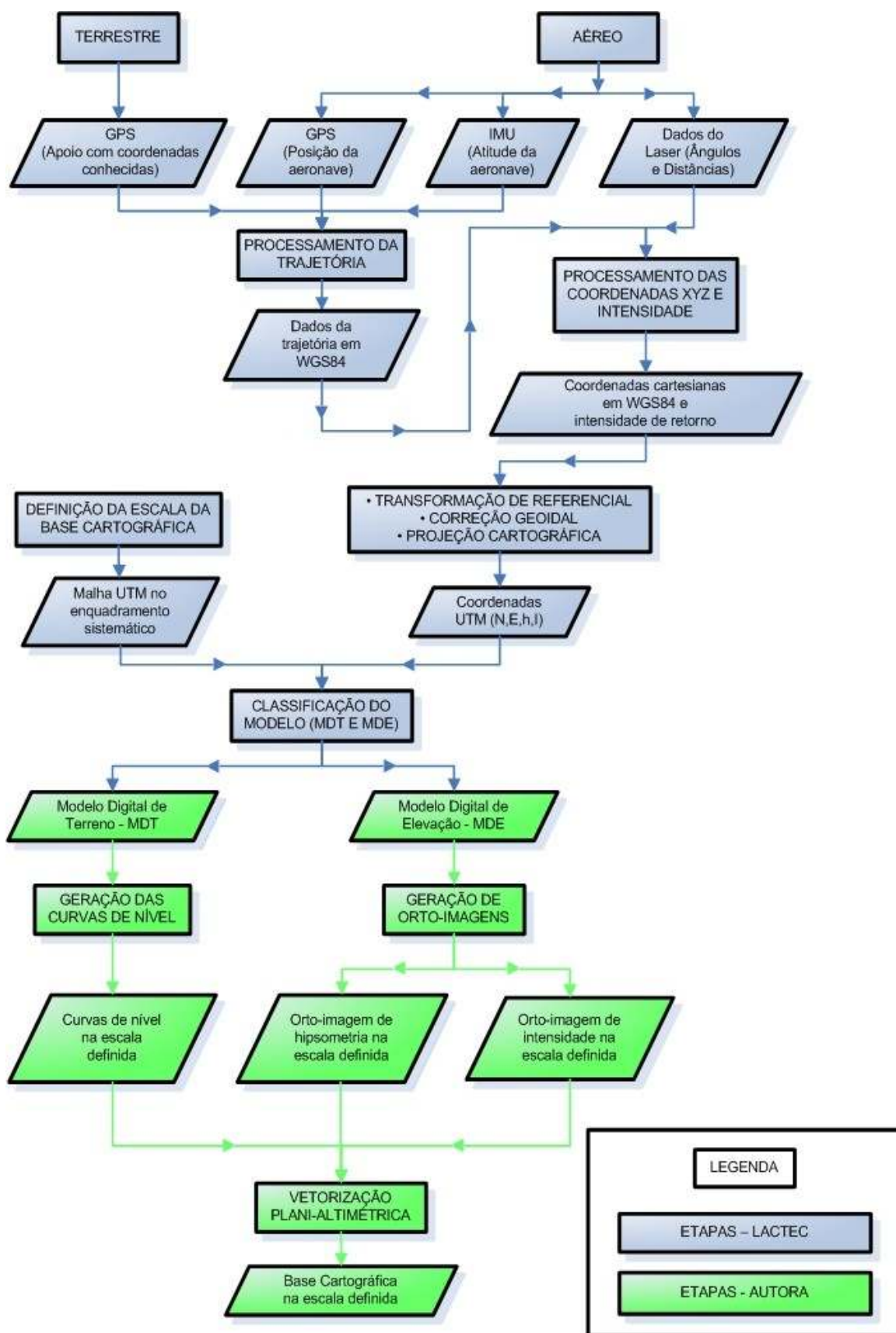


Figura 19 – Fluxograma da Metodologia da Confeção da Base Cartográfica

## 6.2.1 Etapas realizadas pelo LACTEC

As etapas de trabalho desenvolvidas pela LACTEC, anteriormente a esta pesquisa da cobertura aérea, execução de voo e processamento dos dados brutos do laser, foram:

### 6.2.1.1 Planejamento da Cobertura Aérea

Com os recursos disponíveis, como plantas ou mapas da região foram calculados e levantados os parâmetros necessários para o planejamento da cobertura aérea, como: dimensão da área do voo, distância e tempo de decolagem do aeroporto de Curitiba até a área, tempo de deslocamento até a área, tipo de relevo (plano ou ondulado), tipo da vegetação (esparsa ou densa) e, precisão necessária do mapeamento. Além da definição do melhor local para a localização da base GPS do apoio de campo.

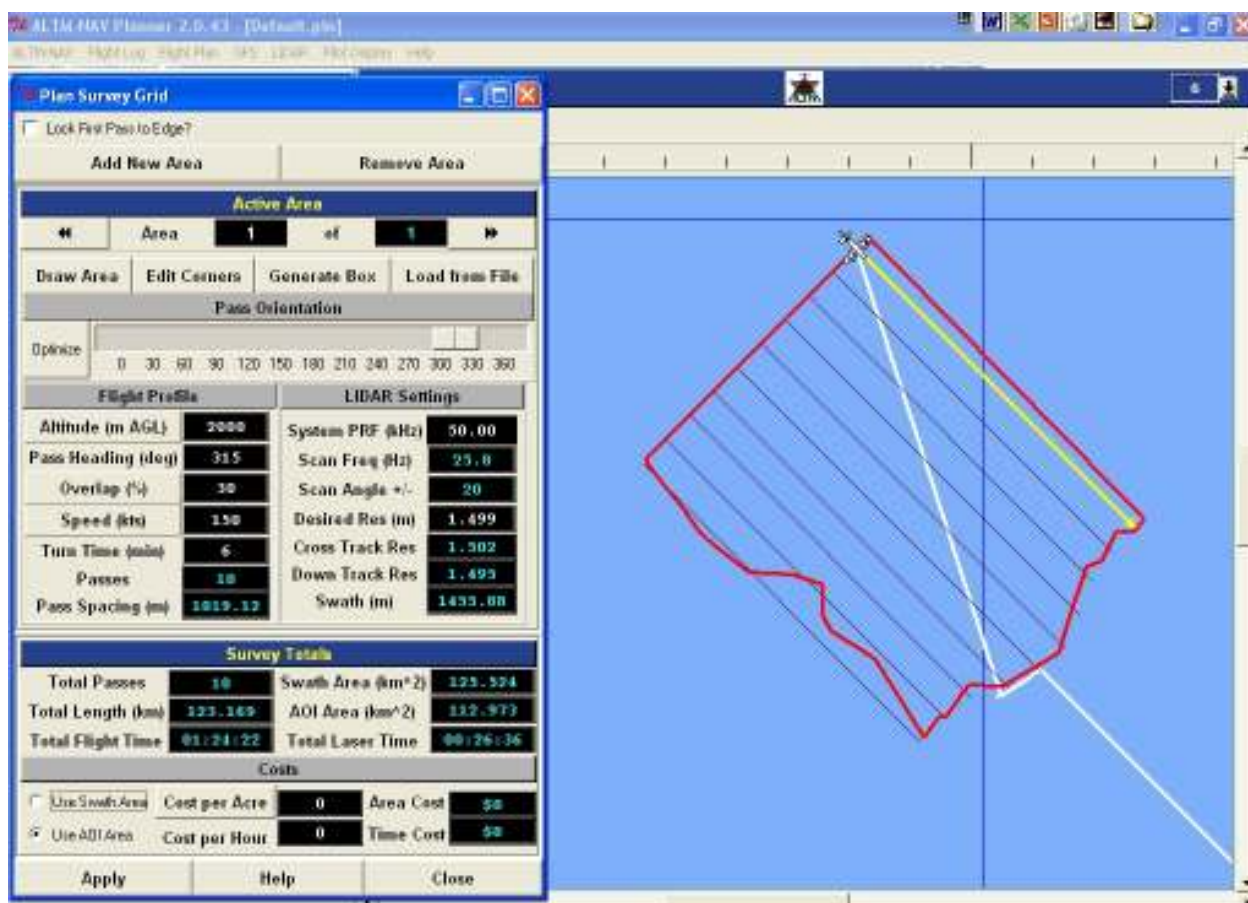


Figura 20 – Software ALTM-NAV, para o Planejamento Aéreo

Após definido estes parâmetros foi utilizado o *software* ALTM-NAV, para calcular o tempo de vôo na região, definir a orientação das faixas de vôo, altura de vôo, recobrimento lateral das faixas, espaçamento entre os pontos, ângulo de abertura e frequência do pulso laser, como pode ser observado os dados mostrados na figura 20.

### 6.2.1.2 Execução do Vôo

Esse vôo foi realizado na altura de 2.000 m, com recobrimento lateral de 30%, espaçamento entre os pontos variando de 0,8 a 1,5 m, com ângulo de abertura de 40° e frequência do pulso laser de 50 kHz conforme apresentado na figura 21.

Active Area			
◀	Area	1	of 1 ▶
Draw Area	Edit Corners	Generate Box	Load from File
Pass Orientation			
Optimize	<input type="checkbox"/>		
	0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360		
Flight Profile		LIDAR Settings	
Altitude (m AGL)	2000	System PRF (kHz)	50.00
Pass Heading (deg)	315	Scan Freq (Hz)	25.8
Overlap (%)	30	Scan Angle +/-	20
Speed (kts)	150	Desired Res (m)	1.499
Turn Time (min)	6	Cross Track Res	1.502
Passes	10	Down Track Res	1.495
Pass Spacing (m)	1019.12	Swath (m)	1455.88
Survey Totals			
Total Passes	10	Swath Area (km <sup>2</sup> )	125.524
Total Length (km)	123.169	AOI Area (km <sup>2</sup> )	112.973
Total Flight Time	01:24:22	Total Laser Time	00:26:36

Figura 21 - Parâmetros de Vôo – Janela de visualização do software ALTM-NAV

Para o gerenciamento da aquisição dos dados em vôo foi utilizado o *software* ALTM-NAV, onde é possível acompanhar todo o levantamento, como: a hora de *Greenwich* (GMT), sendo este o fator de integração entre os dados de GPS, IMU e dados Laser; as coordenadas da aeronave (LAT, LNG); a altitude de vôo (ALT), verificando se a aeronave está na altitude planejada em escritório; a comunicação entre

o GPS da aeronave e o computador de controle (POS); as rotações sofridas pela aeronave (ROLL, PITCH, CRAB)<sup>3</sup>, captados pelo IMU; direção de vôo (CRS), verificando se a aeronave está na direção correta; as condições de geometria do GPS, como PDOP e número de satélites (SVT); e a qualidade do sinal recebido pelo sensor laser. Além da verificação visual do armazenamento dos dados laser no computador de controle e no software de gerenciamento (ALTM-NAV), estas informações podem ser visualizadas no computador de controle conforme figura 22.

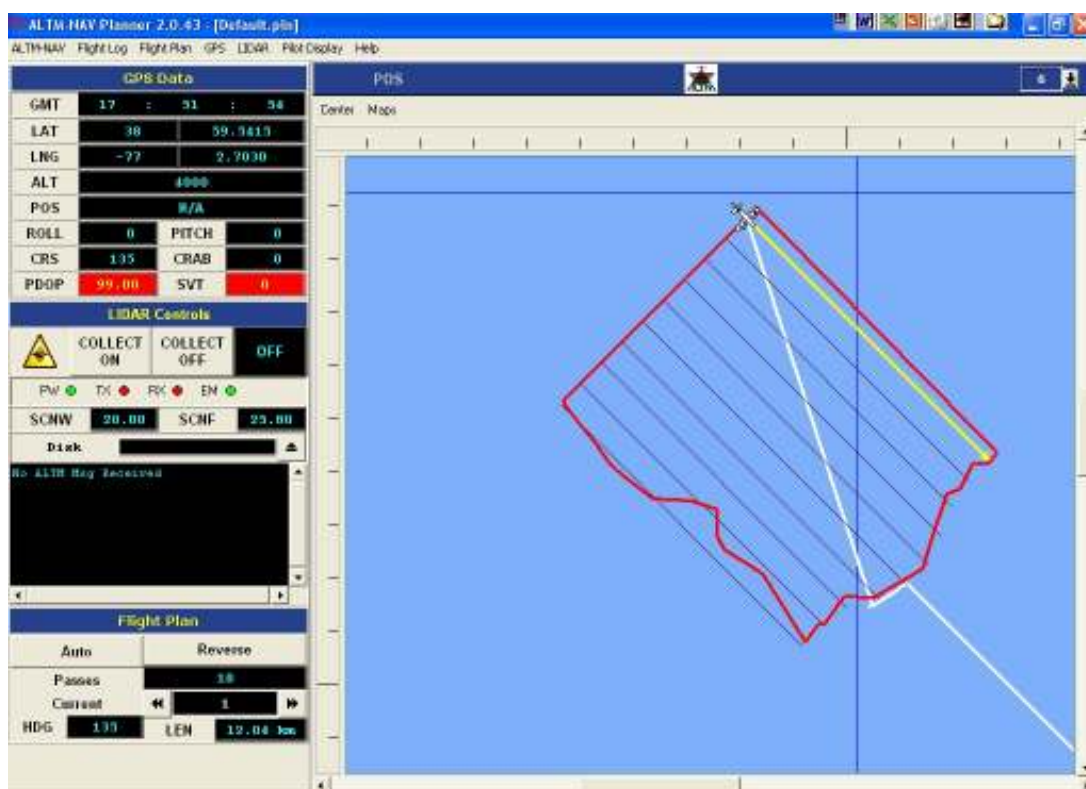


Figura 22 – Gerenciamento do Plano de Vôo ALTM-NAV

A partir do levantamento dos dados laser foi realizado um pós-processamento da trajetória da aeronave, ou seja, um pós-processamento para correção diferencial dos dados GPS da aeronave. Realizou-se a correção através do GPS em solo com seu respectivo apoio de campo sobre um ponto de coordenadas conhecidas. Logo o apoio de campo básico planialtimétrico foi constituído pela rede de marcos de 1ª ordem do IBGE, existentes na região, realizando a correção diferencial necessária ao processamento dos dados brutos, determinando assim a trajetória precisa da mesma.

<sup>3</sup> ROLL, PITCH e CRAB: Movimentos de rotações da aeronave nos eixos x, y e z, respectivamente, ou seja, *omega* ( $\omega$ ), *phi* ( $\phi$ ) e *kappa* ( $\kappa$ ), respectivamente, como conhecido na fotogrametria.

O GPS de apoio localizou-se no máximo a 50 km da aeronave, para obtenção de resultados centimétricos. Também foi realizada uma compensação geoidal, para se obter as altitudes ortométricas dos pontos de apoio e dos pontos levantados pelo laser.

### 6.2.1.3 Processamento dos Dados Brutos do Laser

O processamento dos dados brutos do Laser foi realizado conforme o fluxograma de trabalho da figura 23.

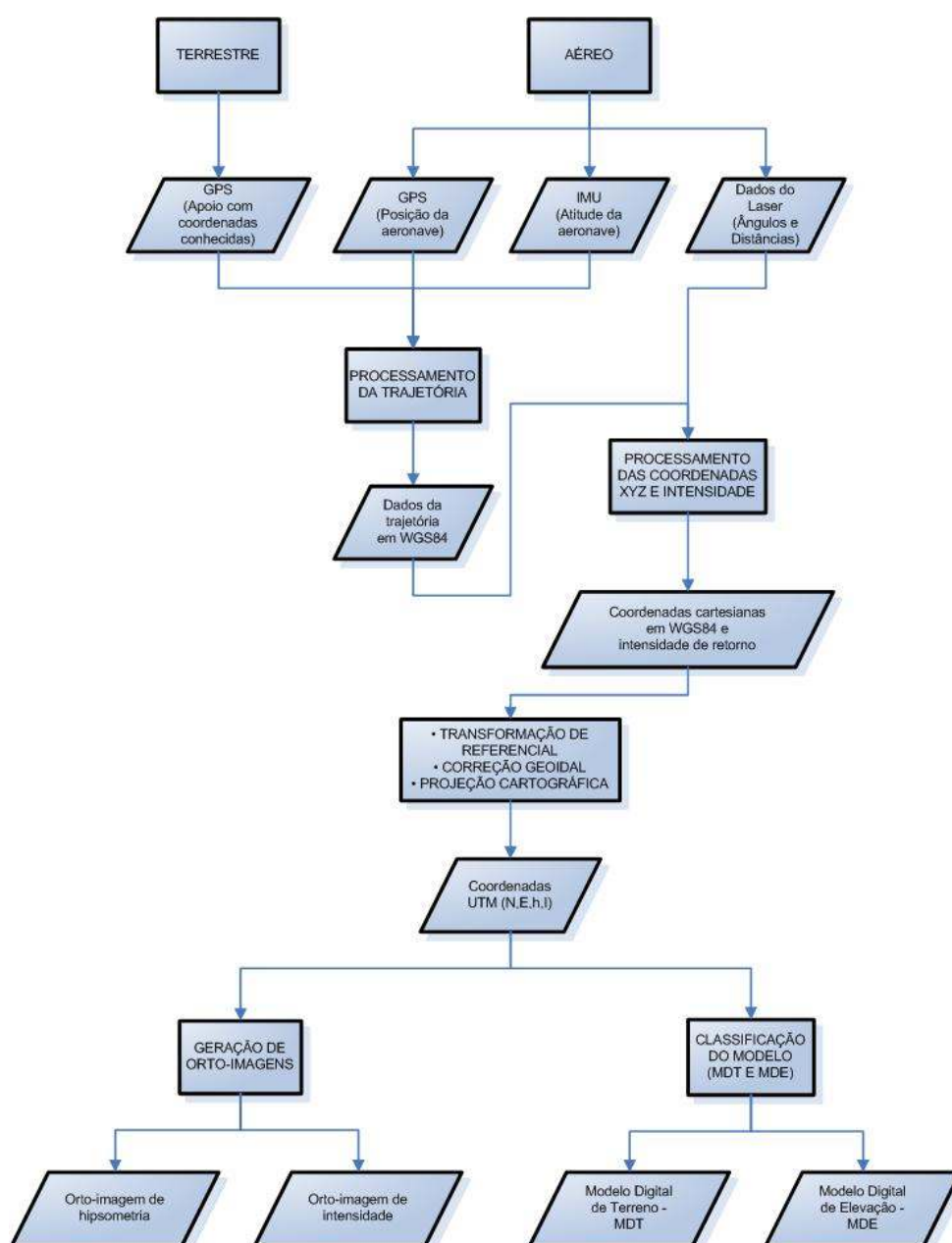


Figura 23 – Fluxograma Completo do Processamento dos Dados Brutos do Laser

Depois de realizado a execução do vôo laser foi necessário extrair os dados do sistema de LSA, para isto foi utilizado o *software Extract Disc*. Este software separa os dados em duas partes, sendo a primeira, o GPS e o IMU da aeronave e a segunda os dados do Laser (tempos e ângulos).

Após extraído os dados coletados durante o vôo do sistema de LSA, foi processado a trajetória da aeronave utilizando os arquivos brutos do GPS de campo, do GPS da aeronave e dos dados do sistema Inercial – IMU da aeronave. Para isto, foi utilizado o *software APPLANIX*.

A trajetória foi processada automaticamente de dois modos: No primeiro o processamento é obtido no sentido do vôo, ou seja, da decolagem até a aterrissagem, já o segundo é informado o sentido contrário, da aterrissagem até a decolagem. Este tipo de ambiente computacional é possível selecionar a melhor parte de cada solução calculada, sendo que na primeira solução, a melhor parte é da metade da trajetória para o final (aterrissagem), já que as ambigüidades se fixam melhor no final da trajetória. Assim, a melhor parte da segunda solução é da metade da trajetória para o início (decolagem).

Todos os dados processados da trajetória foram calculados no sistema de coordenadas pré-definidas do sistema GPS, ou seja, o WGS-84. Assim gerando um arquivo que será utilizado no processamento dos dados brutos do Laser para corrigir as rotações do sistema Laser (IMU) e também georreferenciar os dados do laser no sistema de referência WGS-84 após o processamento.

Para realizar o segundo processamento dos dados brutos foram utilizados o *software REALM*, que utiliza a trajetória calculada e os dados brutos da Laser para a obtenção das coordenadas cartesianas no sistema WGS 84, conforme a figura 24.

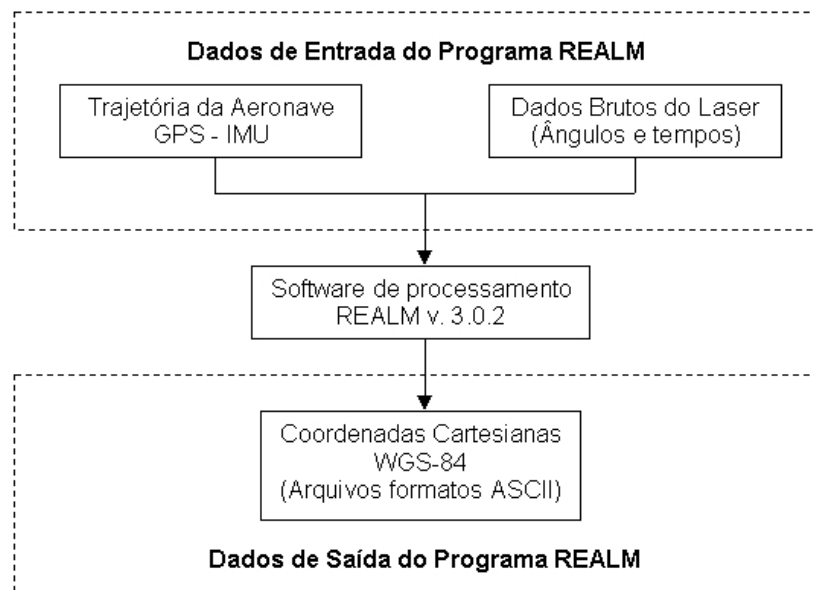


Figura 24 – Processamento dos Dados Brutos do Laser no Software REALM.

Concluídas as fases de trabalho anteriores, é necessário realizar um novo processamento, de WGS-84 para o SAD-69. Segundo as normas do IBGE, isto significa, aplicar uma correção geoidal para a região de estudo e projetar os dados no sistema plano UTM (*Universal Transversal Mercator*), gerando assim, uma nuvem de pontos sem distinção entre o terreno e os objetos contidos na superfície, sendo necessária mais uma etapa de classificação de pontos em MDT e MDE.

A partir do software TerraScan foi realizada a classificação simples dos pontos, para diferenciar apenas quais elementos correspondem ao terreno (MDT) e quais correspondem à vegetação, à edificação e à outros elementos da superfície (MDE).

A etapa de classificação foi realizada de maneira automática na nuvem de pontos com o objetivo de separá-los em pontos que tocam à superfície terrestre e pontos que tocam outros elementos (objetos). O programa TerraScan possui uma ferramenta específica para esta tarefa, onde os parâmetros para a utilização desta ferramenta (ângulo do terreno, ângulo e distância de interação) foram definidos com base na análise de outros resultados realizados na área de estudo. Estes parâmetros podem ser visualizados na figura 25.



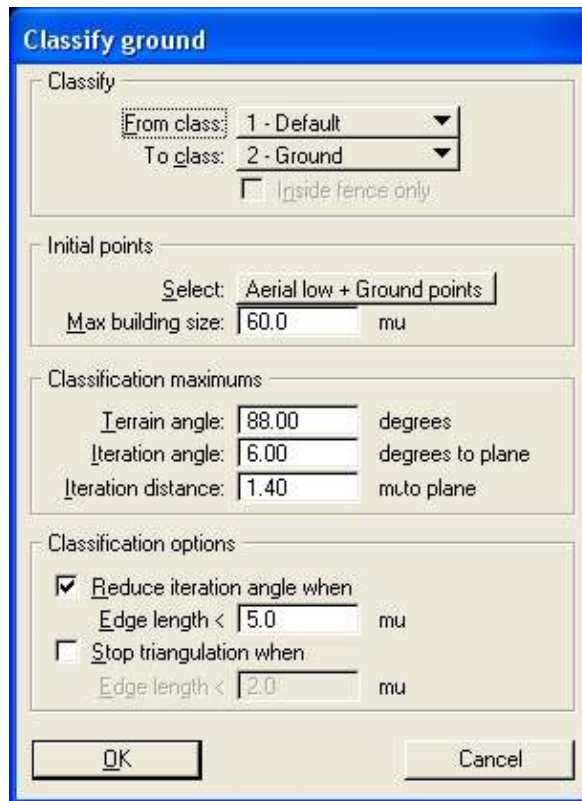


Figura 25 – Parâmetros do Programa TerraScan na Classificação da Nuvem de Pontos.

Depois de realizadas as etapas mencionadas anteriormente, os produtos obtidos do processamento dos dados brutos do Laser foram os seguintes: a) Pontos com coordenadas UTM georreferenciadas no Sistema Geodésico Brasileiro – SBG com altitude ortométrica, para o Modelo Digital de Elevação – MDE (terreno e estruturas verticais) no formato ASCII; e b) Pontos com coordenadas UTM georreferenciadas no Sistema Geodésico Brasileiro – SGB com altitude ortométrica, para o Modelo Digital de Terreno – MDT (apenas o terreno) no formato ASCII, conforme figura 18, citada no item 6.1 desta pesquisa.

#### 6.2.2. Etapas Realizadas pela Autora da Pesquisa

As etapas de trabalho necessárias para confeccionar uma base cartográfica a partir dos dados oriundos do Sistema LSA se resumem à: a) geração das imagens de intensidade; b) geração das imagens de hipsometria; c) interpretação da imagem de intensidade; d) interpretação da imagem hipsométrica; e) vetorização planimétrica; f) vetorização altimétrica; g) classificação da exatidão do produto cartográfico de acordo com o PEC, conforme o fluxograma de trabalho da figura 26.

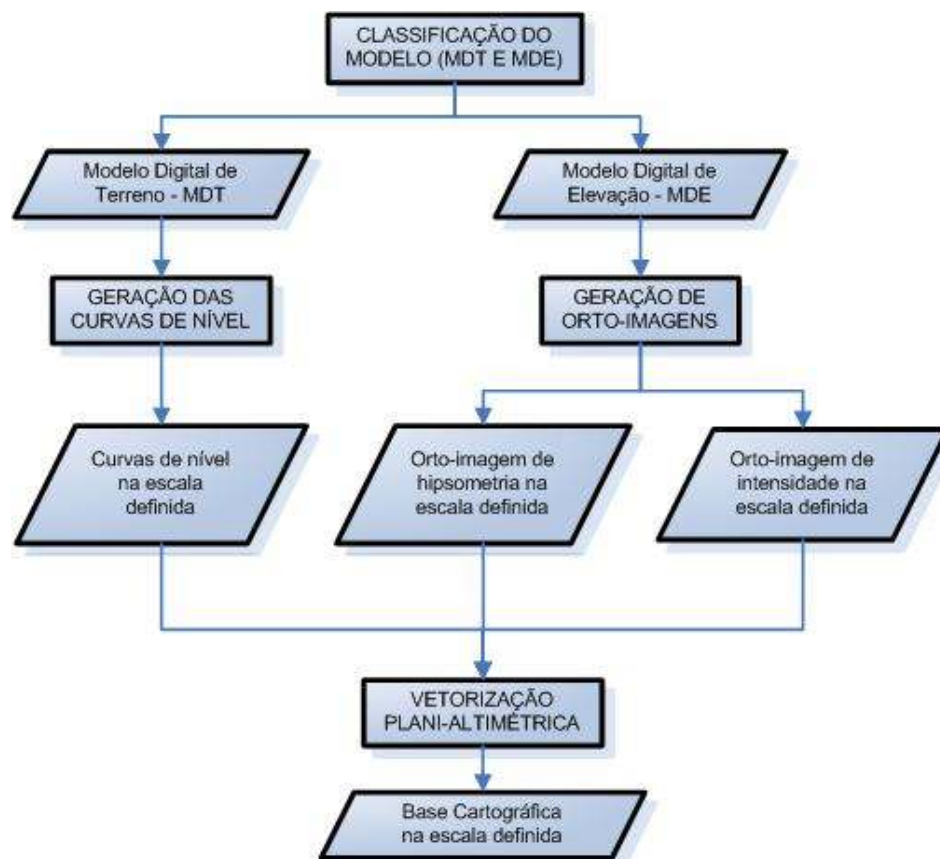


Figura 26 – Fluxograma das Etapas Realizadas pela Autora da Pesquisa

#### 6.2.2.1 Geração das Imagens Laser

O processo de obtenção das imagens Laser (Intensidade<sup>4</sup> e Hipsometria<sup>5</sup>) para a vetorização planimétrica, foi dividido em duas partes: geração das imagens de intensidade, sendo estas salva no formato GEOTIFF; e geração das imagens de hipsometria, sendo estas salva no formato GEOTIFF.

Cabe ressaltar que estas imagens são totalmente ortoretificadas, tanto no nível do solo como no nível das edificações, já que o sistema Laser levanta pontos diretos no terreno e com coordenadas tridimensionais. Assim, no processamento das imagens cada *pixel* tem uma coordenada que representa uma porção real do terreno que é ortoretificado, resultando numa ortoimagem.

<sup>4</sup> Imagem com coordenadas UTM e valor de intensidade do laser, imagem em tons de cinza (8 bits).

<sup>5</sup> Imagem com coordenadas UTM, valor de intensidade do laser e distinção de cores utilizando a altitude do terreno, imagem colorida por altitude (24 bits), ver figura 05 e 06.

Para realizar este processamento das imagens foi utilizado o *software* APL QT Viewer, cuja o Modelo Digital de Elevação – MDE é a base de dados, já que seria necessário processar uma imagem com todos os detalhes levantados, desde o terreno até as edificações e vegetação.

No programa, o MDE foi importado como arquivo ASCII *file* e processado para gerar as imagens de intensidade e de hipsometria, conforme figura 27.

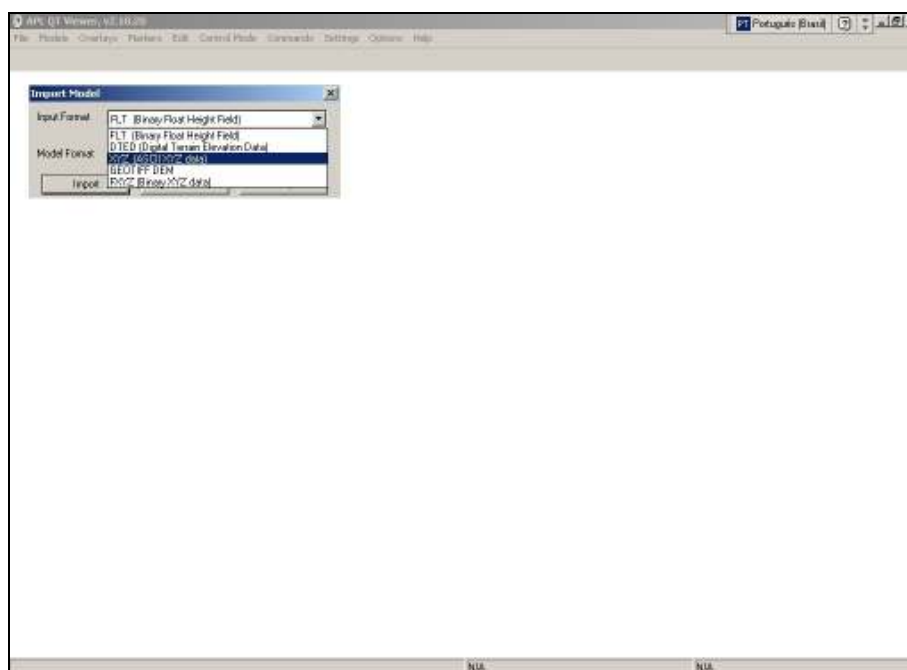


Figura 27 – Importação do MDE no *software* APL QT Viewer.

#### 6.2.2.2 Interpretação das Imagens Laser e Vetorização Plani-Altimétrica

À interpretação das imagens laser, foi considerada de suma importância e houve a necessidade de realizar uma pesquisa mais aprofundada sobre a interpretação das mesmas. Foi adotado nesta etapa, a mesma seqüência de procedimentos e fatores de Anderson (1982):

- a) Detecção;
- b) Reconhecimento e Identificação;
- c) Delineação;
- d) Dedução;
- e) Classificação;
- f) Idealização.

#### a) Detecção

A fase de detecção segundo Loch (2001), não é apenas observar o objeto, mas compreende também, em agrupá-los, conforme sua importância, diante dos interesses do trabalho. Sendo assim a detecção está ligada ao conhecimento do intérprete sobre a região.

Para facilitar a interpretação dos objetos, durante a pesquisa foi realizada uma visita de campo no início dos trabalhos de interpretação. Esta visita em campo, figura 28, possibilitou a pesquisadora adquirir alguns conhecimentos exigidos durante a interpretação das imagens laser, visto a dificuldade de encontrar literatura sobre esse assunto.



Figura 28 – Barragem da Usina Hidrelétrica “Governador Parigot de Souza”

#### b) Reconhecimento e Identificação

Nesta fase de reconhecimento e identificação leva-se em conta tudo o que é visível e justaposto na imagem de intensidade e hipsometria, tais como: forma, textura, tamanho, densidade, declividade, posição espacial, entre outros.

Para esta pesquisa todos os aspectos citados acima foram levados em conta, como exemplo, podemos citar a textura e a forma, conforme figura 29.

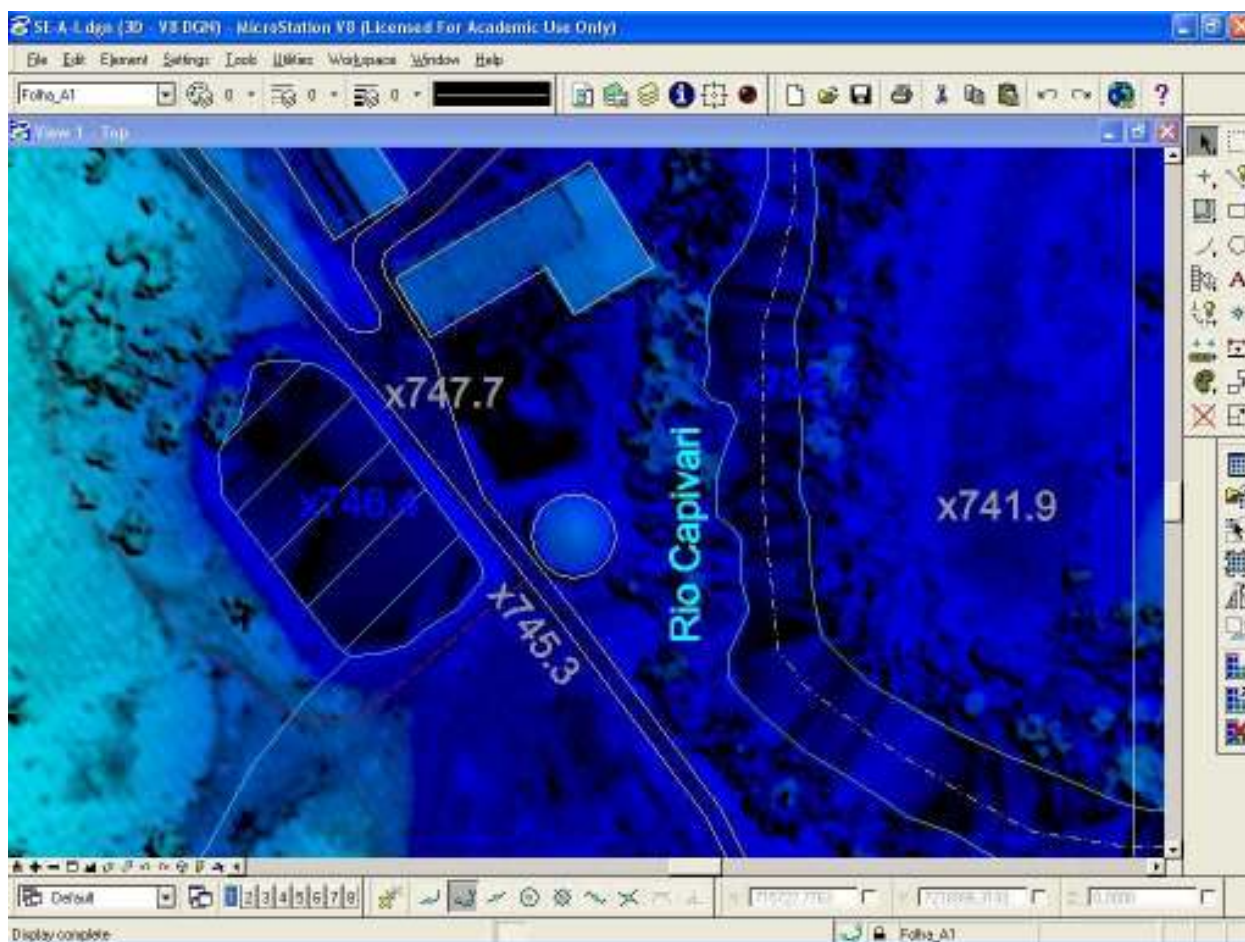


Figura 29 – Diferenciação da textura e da forma na imagem Laser

No caso das imagens Laser um telhado de uma edificação tem uma textura lisa e regular, já a vegetação tem uma textura rugosa e irregular, assim facilitando identificar uma edificação no meio da vegetação.

### c) Delineação

A fase de delimitação tem como objetivo identificar um objeto, delimitá-lo e classificá-lo, ou seja, nesta etapa começa a vetorização das feições cartográficas, onde se é traçando todos os objetos de interesse. A vetorização foi realizada sobre as imagens do Laser (intensidade e hipsométrica).

Nesta pesquisa a vetorização cartográfica foi apenas planimétrica, já que a vetorização das curvas de nível, ou vetorização altimétrica, é um processo automático sem a interferência do intérprete.

A vetorização planimétrica dos objetos para a geração da base cartográfica, foi executada utilizando o *software* MicroStation (CAD), tornando os vetores totalmente compatíveis com o formato de entrada ao SIG.

As feições delimitadas e classificadas foram às mínimas necessárias, consideradas pela autora (interprete) como componentes de uma base cartográfica planimétrica para a área de pesquisa, ou seja, o sistema viário, a hidrografia, as edificações, entre outros, conforme figura 30.

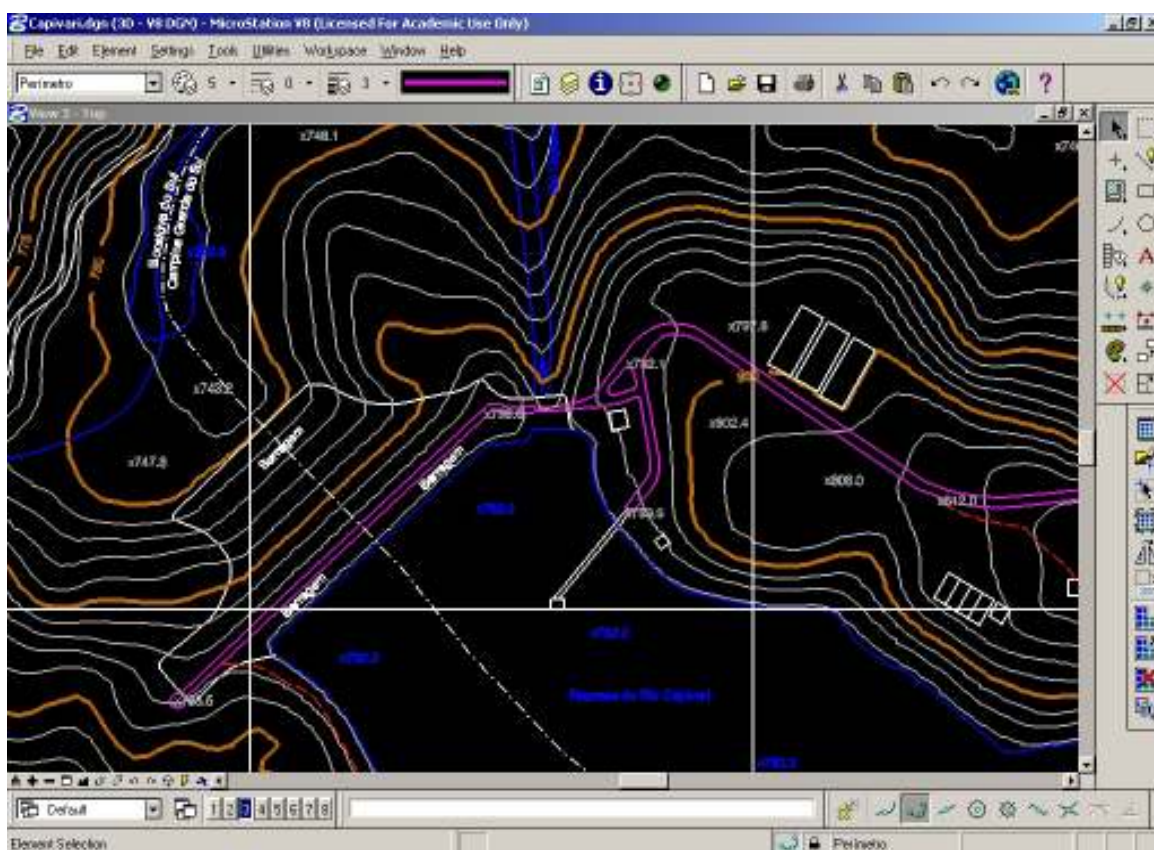


Figura 30 – Vetorização dos elementos encontrados nas imagens

A precisão da delimitação do objeto está relacionada com a acuidade visual do intérprete e com a experiência, do mesmo.

Em paralelo com a vetorização planimétrica foi realizada a vetorização altimétrica automática utilizando o programa InRoads, sendo este um aplicativo do *software* MicroStation ou do *software* AutoCAD, no caso desta pesquisa foi utilizado como plataforma CAD o programa MicroStation.

Para geração das curvas de nível além dos *softwares* acima descritos foi necessário utilizar os Modelos Digitais de Terreno – MDT, lembrando que a altitude

destes modelos é a ortométrica, pois os modelos já estavam com as altitudes corrigidas pelo mapa geoidal da região. O traçado das curvas de nível foi realizado na forma contínua, tendo somente interrupção nas curvas de níveis mestras para inserção da toponímia da curvas ou para evitar a superposição com edificações, estradas, entre outros, conforme figura 36.

A equidistância das curvas de nível foi de 5 metros com curvas mestras a cada 25 metros. Também foram gerados os pontos cotados importantes, tais como: passagem de nível; bifurcação e interseção de estradas; pico de elevações e divisores de água; depressões e talvegues; cabeceiras de pontes; lagos; barragens; entre outros, conforme figura 31.

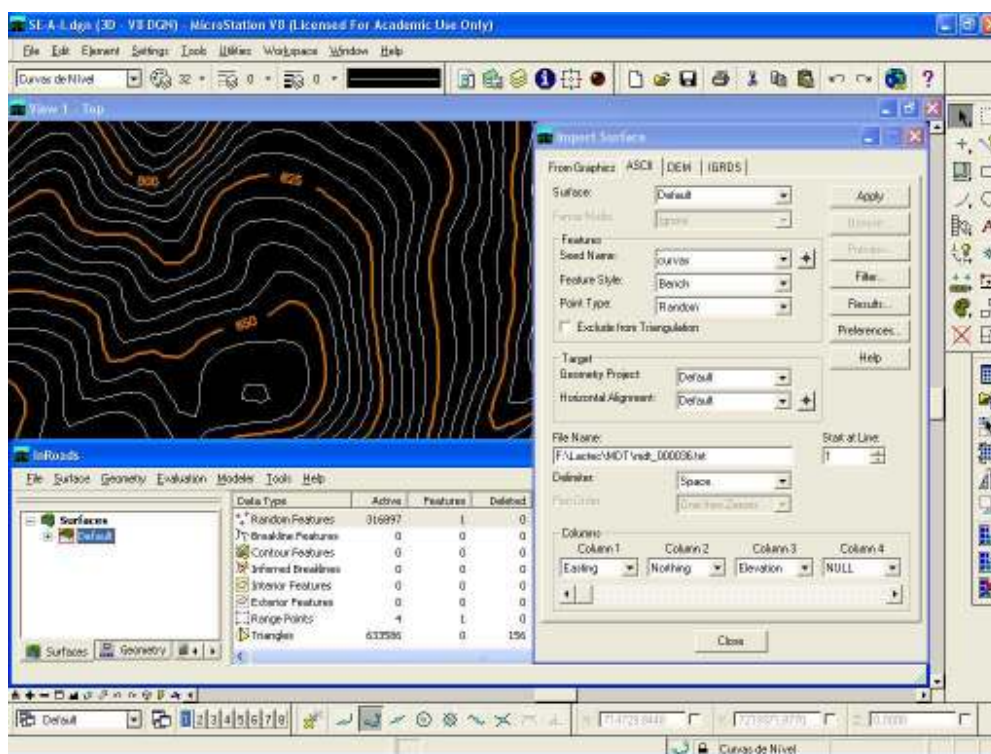


Figura 31 – Software InRoads, para geração automática das curvas de nível

#### d) Dedução

A fase de dedução é aquela que através de elementos visíveis são obtidas conclusões sobre o que não pode ser identificado. Como por exemplo, uma rodovia que desaparece e depois de alguns metros volta a aparecer, isto significa que neste meio a rodovia passou por um túnel. Como também um rio que desaparece sobre uma rodovia, isto significa que o rio passou por um sumidouro.

Nesta pesquisa não teve nenhum caso de dedução, como acima citado.

## e) Classificação

Na fase de classificação, as feições delimitadas foram agrupadas conforme sua própria natureza como, por exemplo: rodovias pavimentadas, arruamento, rodovias não pavimentadas, caminhos carroçáveis, rios principais e secundários, lagos e lagoas, tanques, braço de rio, edificações, pontes, usinas ou barragens e subestação.

A classificação do objeto é também, diretamente relacionada com a acuidade visual do intérprete e com a experiência do mesmo.

Para executar a classificação das imagens laser, foi adotado o padrão pré-estabelecido pela Divisão de Serviços Geográficos – DSG do exército, sendo este padrão obrigatório da DSG para escalas menores que 1:25.000, estando vinculadas ao mapeamento sistemático brasileiro.

Apesar da inexistência de uma normatização “de classes de feições” para escalas maiores que 1:25.000, optou-se no uso este padrão adotado pela DSG para orientar de alguma maneira a vetorização cartográfica.

Todas as feições mapeadas/vetorizadas foram representadas conforme as especificações da norma da DSG (tabela TBCD), entre elas, a representação dos traços, símbolos e cor, e depois separadas por níveis. A tabela 05 mostra como foram divididos os níveis que foram vetorizados.

Nível	Cor	Estilo	Traço	Especificação
001	0	0	0	Prancha e Legenda
002	5	0	2	Perímetro da Vetorização
101	0	2	0	Caminho Carroçável
103	0	0	0	Rodovia Não Pavimentada
104	3	0	0	Rodovia Pavimentada
105	3	0	1	Auto-estrada
109	0	0	1	Arruamento
114	0	0	1	Ponte
205	0	4	1	Linha de Transmissão Elétrica
240	0	0	0	Barragem de Represa
241	5	0	0	Subestação
305	0	0	0	Edificação
403	0	7	1	Limite Municipal
408	0	0	0	Malha UTM
615	1	0	0	Lago ou Lagoa Intermitente
616	1	2	0	Lago ou Lagoa Perene
617	7	0	0	Tanque D'água
620	1	0	0	Curso D'água Permanente
801	0	0	0	Cota Comprovada em Ponto Identificável
805	0	0	0	Curva de Nível de Eqüidistância Normal – 5 metros
806	70	0	2	Curval de Nível Mestra – 25 metros
822	1	0	0	Cota Comprovada em Ponto Identificável - Nível D' água

Tabela 04 – Níveis usados na classificação dos objetos



## f) Idealização

A fase de Idealização é responsável pela normatização dos elementos delimitados e classificados, de modo que o usuário da base cartográfica o entenda de forma clara, legível e única.

Para buscar uma padronização do produto cartográfico desta pesquisa optou-se novamente na utilização do padrão definido pelo DSG. Na década de 90, a DSG previa a necessidade dos usuários em produtos passíveis de serem usados em Sistemas de Informações Geográficas – SIG, aliada também à necessidade de automatizar os processos de produção cartográfica.

Isto conduziu a DSG desenvolver um padrão para as estruturas dos dados digitais, como pode ser visto na tabela 04 mencionada.

Essa norma prevê a estruturação e a validação dos arquivos digitais referentes a cartas topográficas do mapeamento sistemático para escalas menores que 1/25.000, conforme a coleção de feições definida nas Tabelas da Base Cartográfica Digital (TBCD).

### 6.2.2.3 Classificação da Exatidão da Base Cartográfica Vetorizada

Para realizar a classificação da base cartográfica quanto à exatidão, seguiu-se como norma técnica o Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984, que diz:

1. Noventa por cento (90%) dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) – Planimétrico, estabelecido;
2. Noventa por cento (90%) dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) – Altimétrico, estabelecido.

A fim de garantir o máximo de precisão no levantamento dos pontos de controle no terreno, optou-se em fazer um levantamento em topográfico com GPS. Para confrontar com os dados obtidos da vetorização da base cartográfica sobre as imagens Laser e verificar qual exatidão a base cartográfica atinge.

Para realizar o levantamento topográfico, escolheu o sistema de posicionamento geodésico por satélites artificial denominado NAVSTAR-GPS. Este sistema trata de um conjunto de satélites de navegação e posicionamento geodésico implantado pelo Departamento de Defesa em conjunto com o Departamento de Transportes dos

Estados Unidos da América, cuja palavra derivou de “*Navigation System with Time and Ranging – Global Position System*”.

Os satélites NAVSTAR-GPS, emitem sinais de rádio, com os quais rastreadores portáteis podem se posicionar. Para a finalidade geodésica, torna-se necessário o emprego de no mínimo dois rastreadores a fim de se obter a máxima precisão, ou seja, precisão superior a 1ª ordem. Um dos rastreadores foi posicionado em um ponto de coordenadas conhecidas e confiáveis (referência) para realizar a correção diferencial e o outro rastreador, no ponto cujas coordenadas deseja-se determinar (móvel).

A fim de manter um bom resultado na análise qualitativa foi utilizado a mesma base de referência usada no LSA para fazer a correção diferencial dos dados GPS do levantamento de campo.

Objetivando manter um mesmo padrão de correção geoidal para os dados do levantamento topográfico utilizou-se o mesmo valor de correção geoidal calculado e usado pelo LACTEC durante a coleta de dados com LSA. Este valor é de 6,627 m de desnível geoidal local ( $\Delta N$ ).

Para esta pesquisa, foram utilizados dois receptores do tipo geodésico da marca LEICA – System 500, modelo SR-530, (ver figura 32) ambos cedidos pelo LACTEC. Estes receptores possuem as seguintes características: doze canais independentes permitindo captar simultaneamente até doze satélites; dupla frequência podendo receber tanto L1 quanto L2; acesso ao código “P”; e possibilidade de utilizar a correção em tempo real “*Real Time Kinematic – RTK*”.



Figura 32 – GPS LEICA (SR 530) usado no Levantamento de Campo

Para o levantamento topográfico optou-se pela utilização do método RTK para a coleta dos pontos de controle. Este método permite medir em pouco tempo todos os pontos escolhidos, com uma excelente precisão, não havendo a necessidade de realizar um processamento posterior em escritório, desde que as distâncias entre o receptor de referência e o receptor móvel não ultrapassem 5 km.

Wilgallis et al. (2002), recomenda que as linhas de base do o RTK devem-se limitar a 5 e 10 km em decorrência do alcance da comunicação das correções diferenciais e da utilização de apenas uma das portadoras para determinação das pseudodistâncias, ainda que a onda portadora L2 esteja disponível para acelerar a resolução das ambigüidades.

Segundo Monico (2000), a técnica de levantamento topográfico pelo método RTK de posicionamento diferencial está sendo utilizada desde meados 1985, para aplicações de alta precisão em tempo real. O princípio deste método está baseado nos mesmos fundamentos do GPS diferencial – DGPS<sup>6</sup>, diferindo apenas pelo tipo de variável.

O método RTK é uma locação polar tridimensional, tem por objetivo determinar as linhas de base entre os receptores para o cálculo das coordenadas dos pontos geográficos. O cálculo da linha de base é um vetor tridimensional no sistema de coordenadas cartesianas do WGS-84, que liga o ponto definido pelo receptor de referência ao ponto ocupado pelo receptor móvel.

A estação de referência transmite informações da fase da portadora em um formato padrão por meio de um sistema de comunicação (no caso desta pesquisa foi utilizado um rádio transmissor) ao receptor móvel a fim de que este determine suas coordenadas precisas, em tempo real (FREIBERGER JR, 2002).

Na figura 33 são mostrados os principais métodos de levantamento GPS e as precisões obtidas em cada método.

---

<sup>6</sup> O método DGPS consiste no posicionamento de uma estação móvel com o uso de correções diferenciais geradas na estação de referência sob a hipótese de existir uma forte correlação entre os erros calculados na estação de referência e na estação móvel, sendo possível minimizá-los ou eliminá-los (MONICO, 2000). Já as correções diferenciais são enviadas em tempo real por meio de um sistema de comunicação (rádio de transmissão ou satélites de comunicação) e dentro de um formato apropriado, definido pela *Radio Technical Committee for Maritime Service - RTCM* (KRUEGER, 1996).

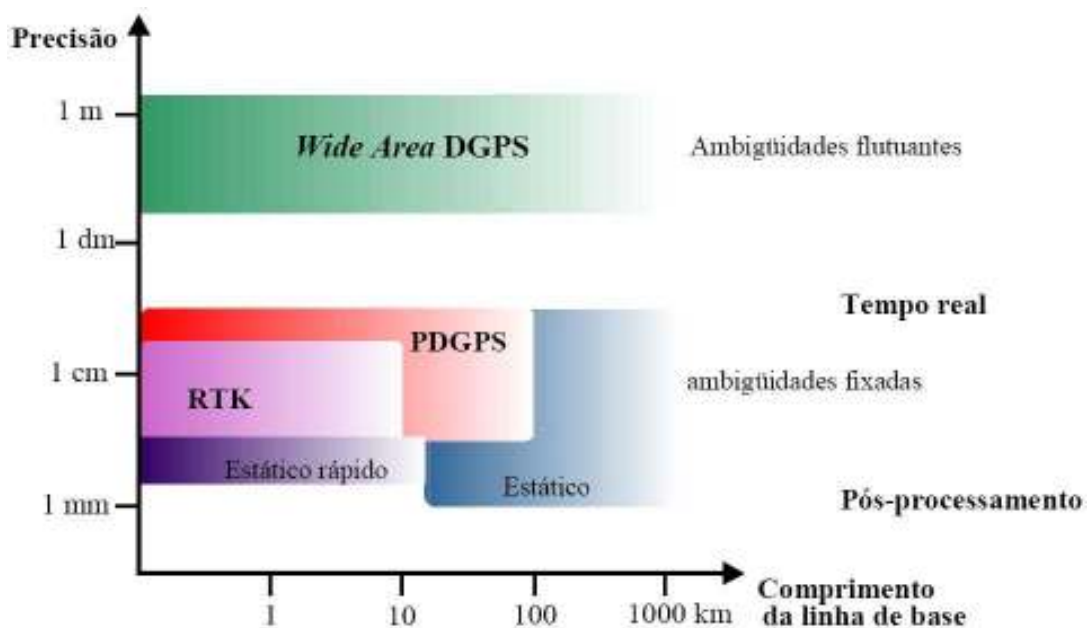


Figura 38 – Comparação entre os métodos de levantamento GPS  
 Fonte: FREIBERGE JR, 2002.

Para obter uma boa precisão no levantamento topográfico por GPS foram definidos alguns parâmetros para a fase de coleta dos pontos no campo, tais como:

1. Número mínimo de satélites – Para todos os pontos de rastreo foi adotado um mínimo de 06 satélites é recomendável;
2. Ângulo mínimo de elevação – Para todos os pontos de rastreo foi adotada uma elevação superior ou igual a 15°;
3. Configuração geométrica (PDOP) – Os pontos de rastreo foram programadas para serem realizadas em horários de melhor configuração geométrica de satélites para o local do experimento.

O número de pontos coletados na base cartográfica e verificados em campo com o GPS foi superior a 100 pontos. Após levantar esses pontos topográficos por GPS, foram comparados as coordenadas dos pontos de controle (E, N, h), com as coordenadas da base cartográfica gerada (E, N, h). As diferenças entre as coordenadas e distâncias entre os pontos. Através dos valores residuais obtidos foi possível calcular o erro padrão (desvio padrão) entre as coordenadas (E, N, h) e as distâncias entre os pontos, este assunto será melhor detalhado no tópico 7.4 desta pesquisa.

## 7. ANÁLISES E RESULTADOS OBTIDOS

### 7.1 ANÁLISE DO MDT E DO MDE

O resultado apresentado neste item é a imagem ortogonal (intensidade e hipsométrica), produto do processo metodológico adotado: a) nuvem de pontos com coordenadas cartesianas tridimensionais (X, Y, Z) no referencial WGS-84, obtida a partir do processamento dos dados brutos do sistema laser (GPS de campo, IMU, ângulos do feixe do laser). b) nuvem de pontos no referencial SAD-69, obtida a partir da transformação do referencial do WGS-84 para SAD-69. Após a transformação de referencial, obteve como resultado o MDT e o MDE, conforme figura 18 do item 6.1, obtidas a partir da classificação de nuvens de pontos *no software TerraScan*.

A dificuldade desta fase de execução está no processamento dos dados laser, especialmente na magnitude do arquivo aproximadamente 130 MB.

Após a essa etapa realizou-se a obtenção das imagens ortogonais de intensidade e de hipsometria, georreferenciadas no SGB e com projeção UTM, conforme figura 34.

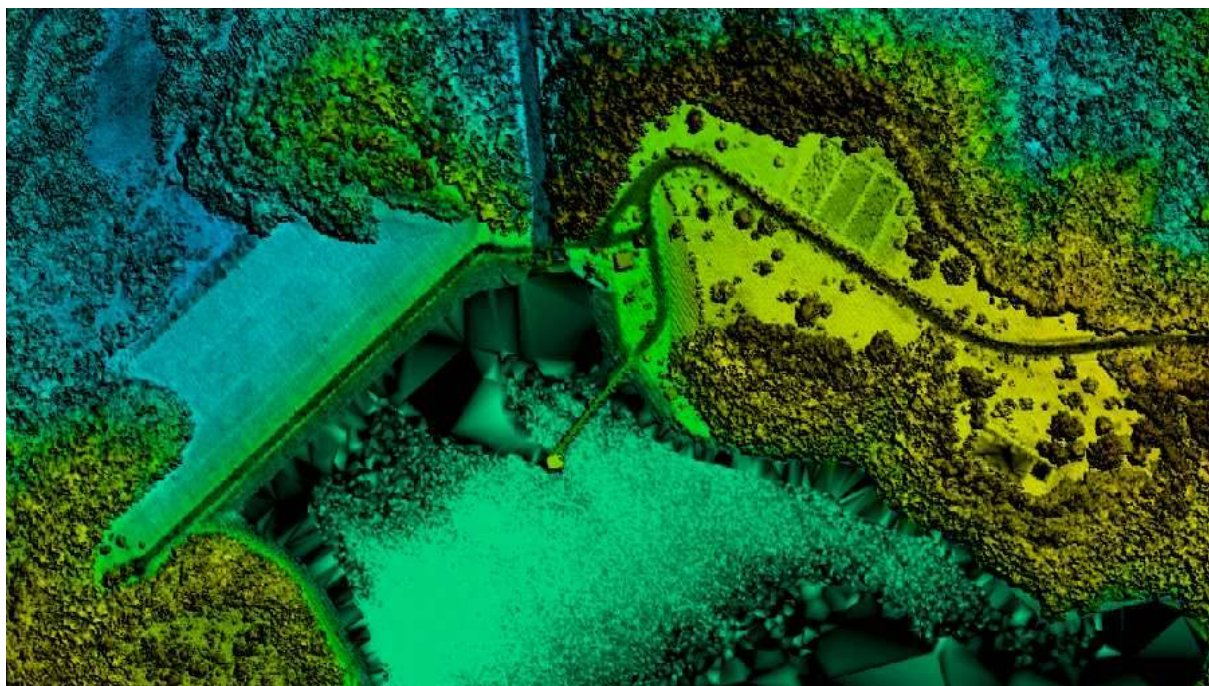


Figura 34 – Imagem Ortogonal Hipsometria

## 7.2 ANÁLISE DA VETORIZAÇÃO PLANIMÉTRICA

Esse item de análise, diz respeito aos resultados obtidos da vetorização das feições cartográficas. A vetorização efetuada foi baseada na interpretação das imagens ortogonais do sistema laser e na identificação das feições *in loco*, necessárias para confeccionar a base cartográfica, conforme ordenação a seguir:

- a) Sistema Viário - foram vetorizadas às rodovias pavimentadas, não-pavimentadas, arruamentos e caminhos, conforme figura 35.

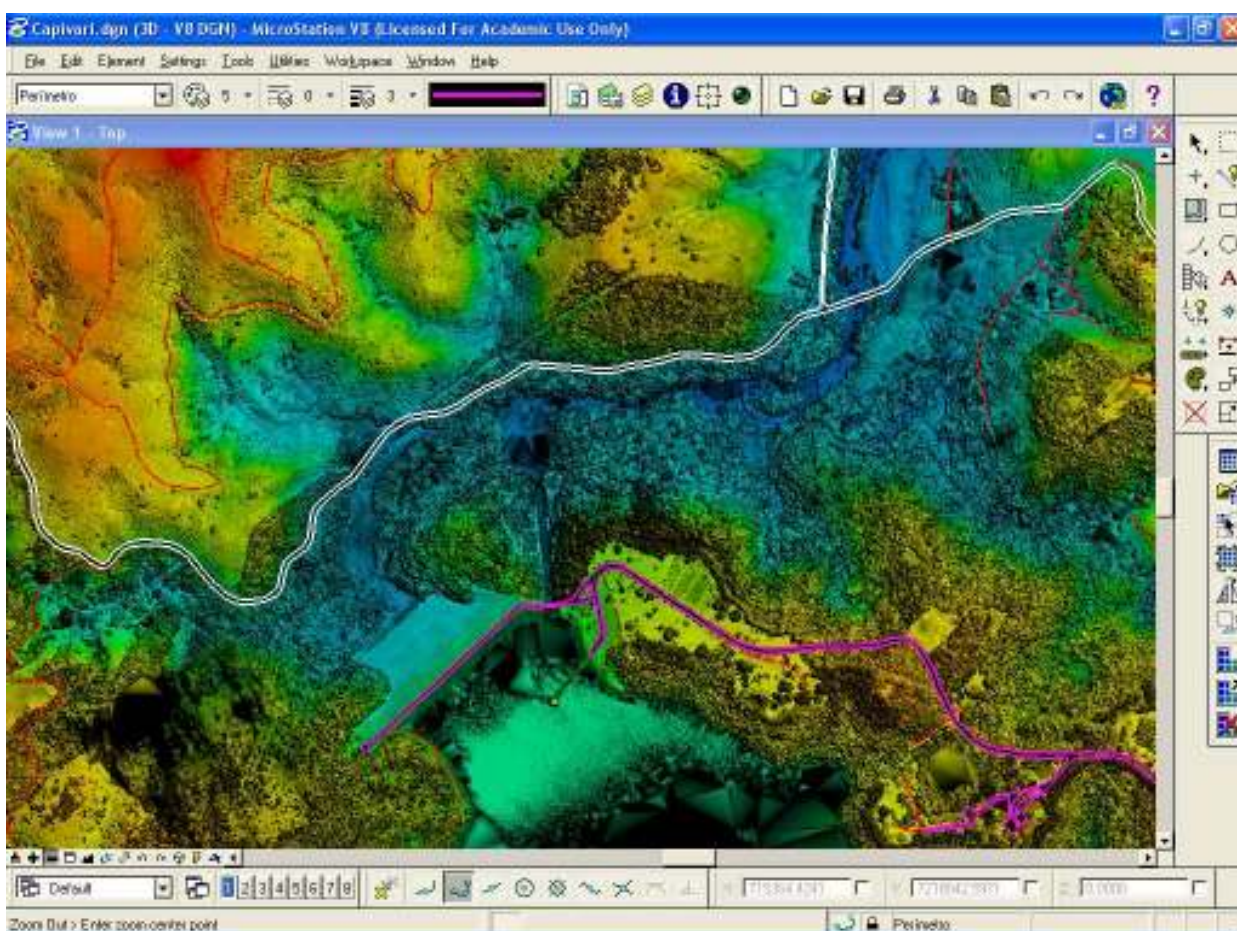


Figura 35 – Vetorização do Sistema Viário

- b) Edificações - os níveis de informações identificados na vetorização foram, pontes, casas, barragens e subestação, conforme demonstrado na figura 36.

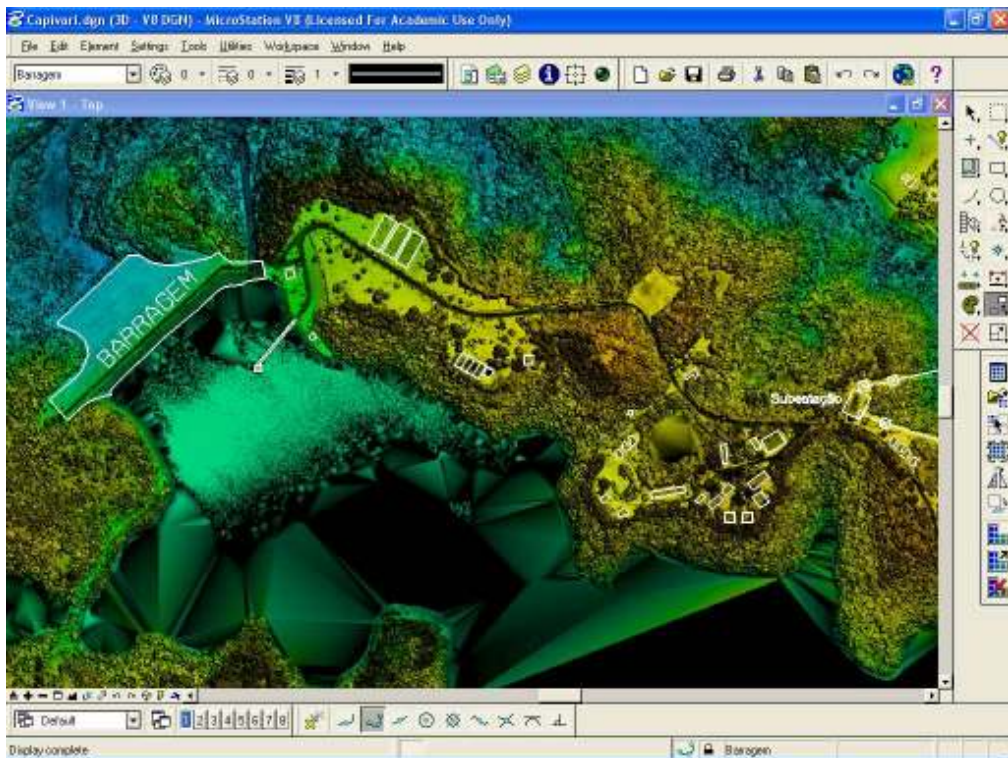


Figura 36 – Vetorização das Edificações

- c) Hidrografias (drenagem natural) – nesta classe de feição foram vetorizadas os lagos, tanque d'água, cursos d'água e rios, conforme figura 37.

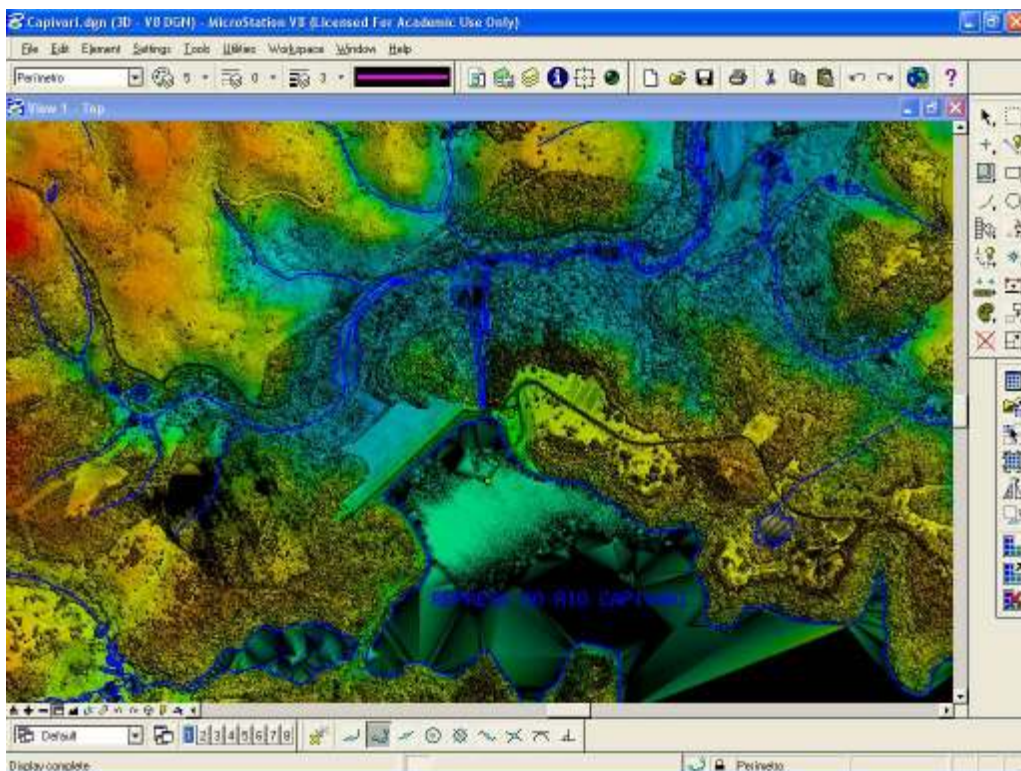


Figura 37 – Vetorização da Hidrografia

### 7.3 ANÁLISE DA VETORIZAÇÃO ALTIMÉTRICA

A vetorização das feições Altimétricas é concretizada de forma automática, sem a interação do usuário. Nesta etapa, é utilizado o Modelo Digital do Terreno – MDT, e software MicroStation – InRoads.

A dificuldade encontrada nessa etapa é decorrente da geração automática das curvas de nível. Após esse processo, é necessário realizar a suavização das curvas de nível, devido às quebras de direções originadas da quantidade de informações do MDT, conforme figura 38.

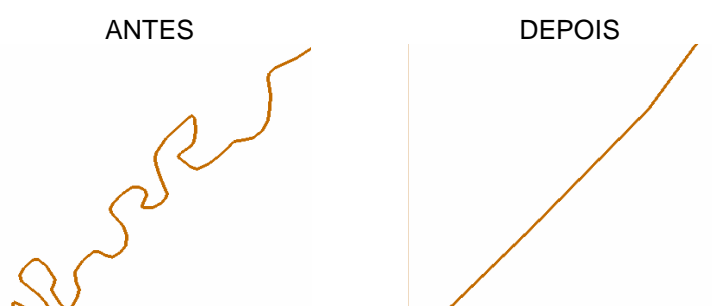


Figura 38 – Suavização das Curvas de Nível

### 7.4 RESULTADO DO LEVANTAMENTO DE CAMPO UTILIZANDO MÉTODO GPS

O resultado obtido do levantamento de campo são as coordenadas de terreno (N, E, H) de cada ponto do terreno medido, conforme apresentado na tabela 06.

O método de levantamento, conforme detalhado no capítulo 6, item 6.2.2.3, RTK mostra-se eficiente na produtividade e na qualidade geométrica dos pontos coletados no terreno. O erro médio (desvio padrão) igual a 2,71 cm pode comprovar a qualidade do levantamento de campo realizado.

Início – Tabela 06

Nome do Ponto	Coordenadas UTM - SAD69 - TOPOGRAFIA			
	Norte (m)	Este (m)	Altitude (m)	Erro Médio (m)
P 001	7218014,4054	714452,3962	790,3790	0,0227
P 002	7218017,1799	714448,9279	790,4060	0,0137
P 003	7218031,2052	714460,2515	790,4126	0,0309
P 004	7218029,9110	714464,9756	790,4216	0,0222
P 005	7218048,5927	714474,2945	790,3761	0,0259
P 006	7218046,1561	714478,1104	790,3719	0,0147
P 007	7218080,7042	714500,2214	790,4554	0,0377
P 008	7218053,8022	714522,6681	789,9008	0,0381

Tabela 06 – Coordenadas do Levantamento de Campo



Nome do Ponto	Coordenadas UTM - SAD69 - TOPOGRAFIA			
	Norte (m)	Este (m)	Altitude (m)	Erro Médio (m)
P 009	7218050,6230	714533,9390	790,1209	0,0288
P 010	7218057,9036	714528,7885	790,2069	0,0368
P 011	7218084,1611	714511,8513	790,2825	0,0422
P 012	7218092,0240	714506,6027	790,3364	0,0197
P 013	7218105,3915	714515,9204	790,3390	0,0268
P 014	7218111,5710	714517,4951	790,4391	0,0306
P 015	7218118,5613	714517,5803	790,4389	0,0184
P 016	7218124,1987	714516,5195	790,4531	0,0264
P 017	7218137,1924	714514,0145	790,5771	0,0062
P 018	7218155,9783	714510,3907	790,6968	0,0455
P 019	7218174,1562	714505,9282	791,0070	0,0111
P 020	7218176,2909	714506,4256	791,0839	0,0272
P 021	7218185,6878	714504,5359	791,7001	0,0317
P 022	7218187,5567	714502,7376	791,8249	0,0245
P 023	7218188,1156	714500,2199	791,9555	0,0386
P 024	7218187,1519	714497,6275	791,9308	0,0482
P 025	7218186,0916	714496,5787	791,8949	0,0300
P 026	7218173,1509	714486,6929	791,2677	0,2651
P 027	7218168,9592	714489,7964	791,0129	0,0604
P 028	7218159,0246	714425,7655	789,2017	0,0165
P 029	7218159,0149	714413,2822	789,0326	0,0273
P 030	7218159,3068	714408,6736	788,9633	0,0334
P 031	7218160,0480	714404,9137	788,9560	0,0301
P 032	7218161,3621	714399,6733	788,9286	0,0217
P 033	7218161,7577	714394,5664	788,9286	0,0218
P 034	7218161,0375	714390,4697	788,8687	0,0243
P 035	7218159,2621	714386,6276	788,8467	0,0227
P 036	7218155,6498	714382,4348	788,9320	0,0160
P 037	7218150,9793	714377,2695	788,8955	0,0180
P 038	7218127,8993	714352,6035	788,8289	0,0220
P 039	7218102,8352	714325,4936	788,8229	0,0259
P 040	7218066,8816	714286,8775	788,8517	0,0356
P 041	7218032,7112	714250,3046	788,9034	0,0155
P 042	7218002,2778	714227,9699	788,8301	0,0166
P 043	7218026,9620	714254,4658	788,8912	0,0169
P 044	7218061,1316	714291,1126	788,9054	0,0164
P 045	7218095,4254	714327,9395	788,8564	0,0146
P 046	7218127,0803	714361,8519	788,8990	0,0119
P 047	7218149,6183	714386,2157	788,9167	0,0160
P 048	7218154,2440	714392,2963	788,9452	0,0172
P 049	7218153,8584	714400,8933	788,9684	0,0104
P 050	7218154,6561	714427,3568	789,1296	0,0277
P 051	7218157,0545	714450,5270	789,2547	0,0202
P 052	7218157,2990	714461,7834	789,6221	0,0212
P 053	7218139,4332	714488,3214	790,6906	0,0226
P 054	7218143,3907	714503,0750	790,7014	0,0232
P 055	7218158,1456	714499,1245	790,6772	0,0118

Tabela 06 – Coordenadas do Levantamento de Campo

Nome do Ponto	Coordenadas UTM - SAD69 - TOPOGRAFIA			
	Norte (m)	Este (m)	Altitude (m)	Erro Médio (m)
P 056	7218160,1245	714490,7822	790,5878	0,0268
P 057	7218158,6576	714485,1164	790,3938	0,0200
P 058	7218174,7755	714515,9789	790,9995	0,0378
P 059	7218146,4957	714521,3772	790,5650	0,0154
P 060	7218130,0405	714524,5020	790,4632	0,0241
P 061	7218117,8731	714526,6032	790,4805	0,0152
P 062	7218108,2388	714526,0326	790,4098	0,0251
P 063	7218098,8763	714522,6364	790,4133	0,0316
P 064	7218090,4653	714516,7886	790,3729	0,0225
P 065	7218186,6900	714513,6723	791,7192	0,0137
P 066	7218193,8825	714513,7501	792,2959	0,0195
P 067	7218202,4858	714516,5516	792,9252	0,0529
P 068	7218207,9947	714520,7072	793,5189	0,0596
P 069	7218213,0817	714527,2571	794,1419	0,0549
P 070	7218215,5612	714536,2466	794,8608	0,0355
P 071	7218215,4261	714543,8419	795,3666	0,0291
P 072	7218213,1336	714550,2755	795,9314	0,0640
P 073	7218207,6102	714559,3051	796,4836	0,0289
P 074	7218205,2558	714578,7893	797,7288	0,0309
P 075	7218238,8614	714639,0202	800,2150	0,0037
P 076	7218227,3716	714655,5051	800,1458	0,0001
P 077	7218225,3901	714658,6773	800,5225	0,0256
P 078	7218213,9814	714675,5686	800,6516	0,0106
P 079	7218211,8035	714678,7239	800,6119	0,0230
P 080	7218156,8309	714670,9669	800,7919	0,0175
P 081	7218167,9953	714654,2997	800,7283	0,0304
P 082	7218183,9157	714630,8057	800,6745	0,0153
P 083	7218147,2081	714650,4445	804,3329	0,0092
P 084	7218155,7046	714653,8362	804,2357	0,0088
P 085	7218126,4854	714697,9429	807,9455	0,0183
P 086	7218113,2240	714701,9733	808,7340	0,0137
P 087	7218109,6977	714723,3896	810,1335	0,0212
P 088	7218085,0442	714756,2385	812,8101	0,0176
P 089	7218091,5865	714766,1719	813,3448	0,0181
P 090	7218088,9861	714782,0007	814,4556	0,0150
P 091	7218088,1556	714795,3895	815,3638	0,0233
P 092	7218090,8682	714828,4063	817,7194	0,0263
P 093	7218082,1536	714831,3409	817,8068	0,0080
P 094	7218093,0343	714847,9519	818,4562	0,0148
P 095	7218080,8101	714819,4398	817,0291	0,0339
P 096	7218079,8375	714783,3158	814,5819	0,0039
P 097	7218082,7730	714764,8313	813,3357	0,0075
P 098	7218091,2917	714739,4131	811,5718	0,0171
P 099	7218119,7620	714691,9860	807,8013	0,0111
P 100	7218139,6882	714661,8108	805,2268	0,0047

Tabela 06 – Coordenadas do Levantamento de Campo

O levantamento topográfico se fez necessário, porque permitiu realizar uma comparação entre as coordenadas obtidas da base cartográfica (coordenadas gráficas) e as coordenadas levantadas em campo (GPS), descrito no item a seguir.

## 7.5 RESULTADOS DA COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE LEVANTAMENTO – GPS (CAMPO) E LASER SCANNER (GRÁFICO).

O resultado obtido da comparação entre dos métodos de levantamento, contempla a diferença posicional entre coordenadas obtidas do mapa vetorial, originado dos dados do LSA (representado em verde) e aqueles obtidos do levantamento de campo (representados em vermelho), como demonstrado na figura 39.

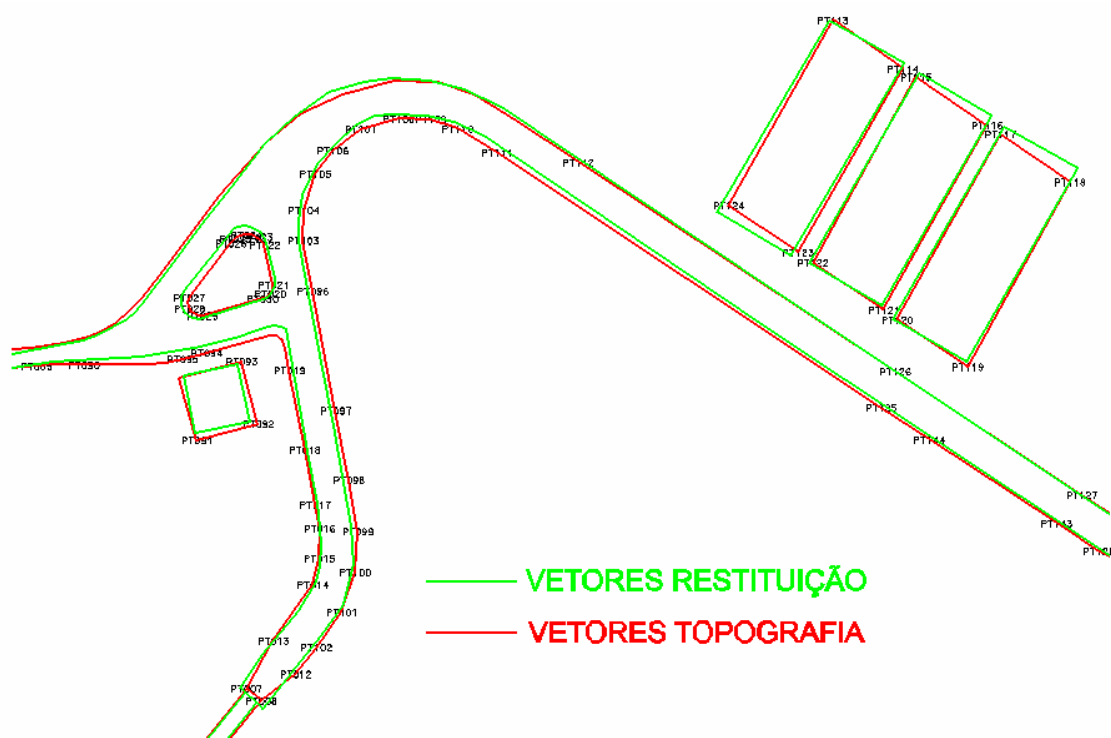


Figura 39 – Comparação Entre o Método de Levantamento de Campo – GPS com o Método Gráfico – Laser Scanner

Os vetores residuais, resultados da comparação entre os dois métodos de levantamento, são apresentados na tabela 07. As coordenadas (N, E, H) dos pontos selecionados na base vetorial e levantados em campo são apresentados na tabela 08.

As diferenças entre as coordenadas de terreno e as coordenadas gráficas, foram calculadas através das fórmulas/equações mostradas a seguir:

$$\Delta E = E_{\text{terreno}} - E_{\text{gráfico}} \quad \Delta N = N_{\text{terreno}} - N_{\text{gráfico}}$$

$$\Delta H = H_{\text{terreno}} - H_{\text{gráfico}}$$

Início – Tabela 07

Ponto	Coordenadas UTM - SAD69 - TOPOGRAFIA			Coordenadas UTM - SAD69 - VETORIZAÇÃO		
	Norte (m)	Este (m)	Altitude (m)	Norte (m)	Este (m)	Altitude (m)
P 001	7218014,4054	714452,3962	790,3790	7218015,0633	714451,2634	790,2226
P 002	7218017,1799	714448,9279	790,4060	7218017,2296	714448,4705	790,2613
P 003	7218031,2052	714460,2515	790,4126	7218031,2121	714460,0361	790,2796
P 004	7218029,9110	714464,9756	790,4216	7218030,3886	714463,9748	790,2227
P 005	7218048,5927	714474,2945	790,3761	7218048,3994	714474,2692	790,2542
P 006	7218046,1561	714478,1104	790,3719	7218046,4300	714477,2949	790,2766
P 007	7218080,7042	714500,2214	790,4554	7218080,6752	714498,6922	789,8405
P 008	7218053,8022	714522,6681	789,9008	7218053,0611	714521,8733	789,4560
P 009	7218050,6230	714533,9390	790,1209	7218052,3358	714533,7046	789,7901
P 010	7218057,9036	714528,7885	790,2069	7218058,5425	714528,7757	789,8792
P 011	7218084,1611	714511,8513	790,2825	7218084,2729	714511,0264	790,0603
P 012	7218092,0240	714506,6027	790,3364	7218091,8586	714506,8249	790,1184
P 013	7218105,3915	714515,9204	790,3390	7218105,6457	714516,8735	790,0653
P 014	7218111,5710	714517,4951	790,4391	7218111,2862	714517,7359	790,0957
P 015	7218118,5613	714517,5803	790,4389	7218118,7248	714517,5895	790,1235
P 016	7218124,1987	714516,5195	790,4531	7218124,3909	714517,1536	790,0972
P 017	7218137,1924	714514,0145	790,5771	7218136,9857	714514,8082	790,1686
P 018	7218155,9783	714510,3907	790,6968	7218155,8678	714511,3875	790,3785
P 019	7218174,1562	714505,9282	791,0070	7218173,9853	714506,0786	790,7033
P 020	7218176,2909	714506,4256	791,0839	7218176,6325	714507,0450	790,7461
P 021	7218185,6878	714504,5359	791,7001	7218186,4229	714504,9021	791,3879
P 022	7218187,5567	714502,7376	791,8249	7218188,6919	714503,1793	791,5403
P 023	7218188,1156	714500,2199	791,9555	7218189,9105	714499,1875	791,6715
P 024	7218187,1519	714497,6275	791,9308	7218188,0196	714496,0781	791,6425
P 025	7218186,0916	714496,5787	791,8949	7218186,5910	714494,9856	791,5377
P 026	7218173,1509	714486,6929	791,2677	7218173,2290	714484,9851	790,6477
P 027	7218168,9592	714489,7964	791,0129	7218167,9346	714489,3971	790,2989
P 028	7218159,0246	714425,7655	789,2017	7218158,3443	714425,9689	789,8135
P 029	7218159,0149	714413,2822	789,0326	7218158,3106	714413,6224	788,7570
P 030	7218159,3068	714408,6736	788,9633	7218158,4468	714408,5833	788,6555
P 031	7218160,0480	714404,9137	788,9560	7218158,8724	714404,6311	788,6647
P 032	7218161,3621	714399,6733	788,9286	7218160,4936	714399,0717	788,6392
P 033	7218161,7577	714394,5664	788,9286	7218161,3982	714395,4088	788,7396
P 034	7218161,0375	714390,4697	788,8687	7218161,0675	714391,1608	788,7053
P 035	7218159,2621	714386,6276	788,8467	7218158,6719	714386,5487	788,6314
P 036	7218155,6498	714382,4348	788,9320	7218155,0353	714382,6568	788,6049

Tabela 07 – Coordenadas de Terreno x Coordenadas Gráficas

Ponto	Coordenadas UTM - SAD69 - TOPOGRAFIA			Coordenadas UTM - SAD69 - VETORIZAÇÃO		
	Norte (m)	Este (m)	Altitude (m)	Norte (m)	Este (m)	Altitude (m)
P 037	7218150,9793	714377,2695	788,8955	7218150,2749	714377,3830	788,5933
P 038	7218127,8993	714352,6035	788,8289	7218127,3666	714352,7380	788,6076
P 039	7218102,8352	714325,4936	788,8229	7218102,0574	714325,5103	788,5881
P 040	7218066,8816	714286,8775	788,8517	7218066,4046	714287,1548	788,5659
P 041	7218032,7112	714250,3046	788,9034	7218032,2757	714250,4775	788,6704
P 042	7218002,2778	714227,9699	788,8301	7218002,9799	714227,0365	788,4959
P 043	7218026,9620	714254,4658	788,8912	7218027,5682	714253,6362	788,6119
P 044	7218061,1316	714291,1126	788,9054	7218061,8020	714290,4079	788,6091
P 045	7218095,4254	714327,9395	788,8564	7218095,8607	714327,0484	788,5785
P 046	7218127,0803	714361,8519	788,8990	7218127,5322	714361,1952	788,6393
P 047	7218149,6183	714386,2157	788,9167	7218150,0854	714385,4716	788,6900
P 048	7218154,2440	714392,2963	788,9452	7218155,1960	714391,4122	788,6790
P 049	7218153,8584	714400,8933	788,9684	7218154,0863	714401,3100	788,6818
P 050	7218154,6561	714427,3568	789,1296	7218155,3838	714426,3726	789,5136
P 051	7218157,0545	714450,5270	789,2547	7218157,1352	714450,5956	789,6143
P 052	7218157,2990	714461,7834	789,6221	7218158,1056	714461,9105	789,4034
P 053	7218139,4332	714488,3214	790,6906	7218140,8976	714488,3104	790,4664
P 054	7218143,3907	714503,0750	790,7014	7218143,4497	714501,0705	790,4022
P 055	7218158,1456	714499,1245	790,6772	7218157,1096	714498,3385	790,4866
P 056	7218160,1245	714490,7822	790,5878	7218161,5865	714490,6151	790,2026
P 057	7218158,6576	714485,1164	790,3938	7218160,3712	714484,4933	790,0948
P 058	7218174,7755	714515,9789	790,9995	7218174,5401	714514,8500	790,7184
P 059	7218146,4957	714521,3772	790,5650	7218146,1252	714520,2761	790,3193
P 060	7218130,0405	714524,5020	790,4632	7218129,6436	714523,1394	790,1510
P 061	7218117,8731	714526,6032	790,4805	7218117,7568	714525,0505	790,0902
P 062	7218108,2388	714526,0326	790,4098	7218108,4907	714525,2584	790,1025
P 063	7218098,8763	714522,6364	790,4133	7218100,5417	714523,3901	790,1286
P 064	7218090,4653	714516,7886	790,3729	7218090,5707	714516,0872	790,0435
P 065	7218186,6900	714513,6723	791,7192	7218186,4964	714512,8271	791,3252
P 066	7218193,8825	714513,7501	792,2959	7218193,7569	714513,0077	791,8940
P 067	7218202,4858	714516,5516	792,9252	7218202,3177	714515,9336	792,5576
P 068	7218207,9947	714520,7072	793,5189	7218207,8200	714519,9235	793,0540
P 069	7218213,0817	714527,2571	794,1419	7218213,7449	714525,8952	793,5661
P 070	7218215,5612	714536,2466	794,8608	7218216,0567	714535,7845	794,3970
P 071	7218215,4261	714543,8419	795,3666	7218215,7142	714543,7901	795,1363
P 072	7218213,1336	714550,2755	795,9314	7218213,8305	714550,8111	795,4746
P 073	7218207,6102	714559,3051	796,4836	7218208,9929	714559,5873	796,0362
P 074	7218205,2558	714578,7893	797,7288	7218205,4396	714579,1519	797,4661
P 075	7218238,8614	714639,0202	800,2150	7218238,5616	714638,2324	799,4958
P 076	7218227,3716	714655,5051	800,1458	7218228,2609	714655,8214	800,1687
P 077	7218225,3901	714658,6773	800,5225	7218225,9995	714659,3391	800,1874
P 078	7218213,9814	714675,5686	800,6516	7218216,0972	714676,5480	800,3083
P 079	7218211,8035	714678,7239	800,6119	7218213,4364	714679,6913	800,2511
P 080	7218156,8309	714670,9669	800,7919	7218157,6883	714670,6740	800,2843
P 081	7218167,9953	714654,2997	800,7283	7218167,7067	714653,3088	800,1028

Tabela 07 – Coordenadas de Terreno x Coordenadas Gráficas

Ponto	Coordenadas UTM - SAD69 - TOPOGRAFIA			Coordenadas UTM - SAD69 - VETORIZAÇÃO		
	Norte (m)	Este (m)	Altitude (m)	Norte (m)	Este (m)	Altitude (m)
P 082	7218183,9157	714630,8057	800,6745	7218182,7824	714629,1876	800,2330
P 083	7218147,2081	714650,4445	804,3329	7218147,4426	714651,1035	804,0091
P 084	7218155,7046	714653,8362	804,2357	7218155,2365	714653,7297	803,9157
P 085	7218126,4854	714697,9429	807,9455	7218125,9245	714697,6976	807,6121
P 086	7218113,2240	714701,9733	808,7340	7218113,3441	714702,1876	808,3557
P 087	7218109,6977	714723,3896	810,1335	7218109,1083	714722,8585	809,6688
P 088	7218085,0442	714756,2385	812,8101	7218084,7522	714756,0674	812,5420
P 089	7218091,5865	714766,1719	813,3448	7218090,3435	714766,0216	813,0110
P 090	7218088,9861	714782,0007	814,4556	7218087,9715	714781,9060	814,1677
P 091	7218088,1556	714795,3895	815,3638	7218087,4208	714795,2065	815,0266
P 092	7218090,8682	714828,4063	817,7194	7218090,3435	714828,3307	817,3107
P 093	7218082,1536	714831,3409	817,8068	7218082,5072	714830,9146	817,4425
P 094	7218093,0343	714847,9519	818,4562	7218092,5885	714847,7732	818,1697
P 095	7218080,8101	714819,4398	817,0291	7218081,2365	714819,0966	816,7491
P 096	7218079,8375	714783,3158	814,5819	7218079,8810	714783,1344	814,2765
P 097	7218082,7730	714764,8313	813,3357	7218082,3802	714764,6661	813,0809
P 098	7218091,2917	714739,4131	811,5718	7218091,1483	714739,2088	811,2037
P 099	7218119,7620	714691,9860	807,8013	7218119,9944	714692,1910	807,5173
P 100	7218139,6882	714661,8108	805,2268	7218140,0722	714662,0743	804,9980

Tabela 07 – Coordenadas de Terreno x Coordenadas Gráficas

Ponto	Diferenças das Coordenadas		
	$\Delta N$ (m)	$\Delta E$ (m)	$\Delta H$ (m)
P 001	-0,6579	1,1328	0,1564
P 002	-0,0497	0,4574	0,1447
P 003	-0,0069	0,2154	0,1330
P 004	-0,4776	1,0008	0,1989
P 005	0,1933	0,0253	0,1219
P 006	-0,2739	0,8155	0,0953
P 007	0,0290	1,5292	0,6149
P 008	0,7411	0,7948	0,4448
P 009	-1,7128	0,2344	0,3308
P 010	-0,6389	0,0128	0,3277
P 011	-0,1118	0,8249	0,2222
P 012	0,1654	-0,2222	0,2180
P 013	-0,2542	-0,9531	0,2737
P 014	0,2848	-0,2408	0,3434
P 015	-0,1635	-0,0092	0,3154
P 016	-0,1922	-0,6341	0,3559
P 017	0,2067	-0,7937	0,4085
P 018	0,1105	-0,9968	0,3183
P 019	0,1709	-0,1504	0,3037
P 020	-0,3416	-0,6194	0,3378

Tabela 08 – Diferenças entre as coordenadas de terreno x coordenadas gráficas

Ponto	Diferenças das Coordenadas		
	$\Delta N$ (m)	$\Delta E$ (m)	$\Delta H$ (m)
P 021	-0,7351	-0,3662	0,3122
P 022	-1,1352	-0,4417	0,2846
P 023	-1,7949	1,0324	0,2840
P 024	-0,8677	1,5494	0,2883
P 025	-0,4994	1,5931	0,3572
P 026	-0,0781	1,7078	0,6200
P 027	1,0246	0,3993	0,7140
P 028	0,6803	-0,2034	-0,6118
P 029	0,7043	-0,3402	0,2756
P 030	0,8600	0,0903	0,3078
P 031	1,1756	0,2826	0,2913
P 032	0,8685	0,6016	0,2894
P 033	0,3595	-0,8424	0,1890
P 034	-0,0300	-0,6911	0,1634
P 035	0,5902	0,0789	0,2153
P 036	0,6145	-0,2220	0,3271
P 037	0,7044	-0,1135	0,3022
P 038	0,5327	-0,1345	0,2213
P 039	0,7778	-0,0167	0,2348
P 040	0,4770	-0,2773	0,2858
P 041	0,4355	-0,1729	0,2330
P 042	-0,7021	0,9334	0,3342
P 043	-0,6062	0,8296	0,2793
P 044	-0,6704	0,7047	0,2963
P 045	-0,4353	0,8911	0,2779
P 046	-0,4519	0,6567	0,2597
P 047	-0,4671	0,7441	0,2267
P 048	-0,9520	0,8841	0,2662
P 049	-0,2279	-0,4167	0,2866
P 050	-0,7277	0,9842	-0,3840
P 051	-0,0807	-0,0686	-0,3596
P 052	-0,8066	-0,1271	0,2187
P 053	-1,4644	0,0110	0,2242
P 054	-0,0590	2,0045	0,2992
P 055	1,0360	0,7860	0,1906
P 056	-1,4620	0,1671	0,3852
P 057	-1,7136	0,6231	0,2990
P 058	0,2354	1,1289	0,2811
P 059	0,3705	1,1011	0,2457
P 060	0,3969	1,3626	0,3122
P 061	0,1163	1,5527	0,3903
P 062	-0,2519	0,7742	0,3073
P 063	-1,6654	-0,7537	0,2847
P 064	-0,1054	0,7014	0,3294

Tabela 08 – Diferenças entre as coordenadas de terreno x coordenadas gráficas

Ponto	Diferenças das Coordenadas		
	$\Delta N$ (m)	$\Delta E$ (m)	$\Delta H$ (m)
P 065	0,1936	0,8452	0,3940
P 066	0,1256	0,7424	0,4019
P 067	0,1681	0,6180	0,3676
P 068	0,1747	0,7837	0,4649
P 069	-0,6632	1,3619	0,5758
P 070	-0,4955	0,4621	0,4638
P 071	-0,2881	0,0518	0,2303
P 072	-0,6969	-0,5356	0,4568
P 073	-1,3827	-0,2822	0,4474
P 074	-0,1838	-0,3626	0,2627
P 075	0,2998	0,7878	0,7192
P 076	-0,8893	-0,3163	-0,0229
P 077	-0,6094	-0,6618	0,3351
P 078	-2,1158	-0,9794	0,3433
P 079	-1,6329	-0,9674	0,3608
P 080	-0,8574	0,2929	0,5076
P 081	0,2886	0,9909	0,6255
P 082	1,1333	1,6181	0,4415
P 083	-0,2345	-0,6590	0,3238
P 084	0,4681	0,1065	0,3200
P 085	0,5609	0,2453	0,3334
P 086	-0,1201	-0,2143	0,3783
P 087	0,5894	0,5311	0,4647
P 088	0,2920	0,1711	0,2681
P 089	1,2430	0,1503	0,3338
P 090	1,0146	0,0947	0,2879
P 091	0,7348	0,1830	0,3372
P 092	0,5247	0,0756	0,4087
P 093	-0,3536	0,4263	0,3643
P 094	0,4458	0,1787	0,2865
P 095	-0,4264	0,3432	0,2800
P 096	-0,0435	0,1814	0,3054
P 097	0,3928	0,1652	0,2548
P 098	0,1434	0,2043	0,3681
P 099	-0,2324	-0,2050	0,2840
P 100	-0,3840	-0,2635	0,2288

Tabela 08 – Diferenças entre as coordenadas de terreno x coordenadas gráficas

A tabela 07 indica a possibilidade de avaliar o PEC (indicador estatístico de dispersão, relativo a uma probabilidade de 90%), através de elementos estatísticos necessários para a classificação de exatidão cartográfica do produto gerado. Nesta avaliação foi levada em conta à análise de tendência e a precisão da base cartográfica, demonstrados no item 7.6, sendo utilizadas como base para as análises de qualidade



as fórmulas de Merchant (1982). Os procedimentos foram adotados baseados nos testes de hipóteses sobre o erro médio das diferenças observadas ( $\epsilon_{\Delta N}$ ,  $\epsilon_{\Delta E}$ ,  $\epsilon_{\Delta H}$ ), sobre o desvio padrão das diferenças observadas ( $S_{\Delta N}$ ,  $S_{\Delta E}$ ,  $S_{\Delta H}$ ) e sobre o desvio padrão esperado ( $\sigma_{\Delta N}$ ,  $\sigma_{\Delta E}$ ,  $\sigma_{\Delta H}$ ), sendo estes estipulados pelo decreto-lei n. 89.817, publicado no Diário Oficial da União em 20/06/84 (ver as tabelas 09 e 10).

ESCALA	PLANIMETRIA (m)					
	CLASSE – A		CLASSE – B		CLASSE – C	
	$\sigma_{\Delta N}$ e $\sigma_{\Delta E}$	PEC	$\sigma_{\Delta N}$ e $\sigma_{\Delta E}$	PEC	$\sigma_{\Delta N}$ e $\sigma_{\Delta E}$	PEC
1/1.000	0,3	0,5	0,5	0,8	0,6	1,0
1/2.000	0,6	1,0	1,0	1,6	1,2	2,0
1/3.000	0,9	1,5	1,5	2,4	1,8	3,0
1/4.000	1,2	2,0	2,0	3,2	2,4	4,0
1/5.000	1,5	2,5	2,5	4,0	3,0	5,0
1/10.000	3,0	5,0	5,0	8,0	6,0	10,0
1/25.000	7,5	12,5	12,5	20,0	15,0	25,0
1/50.000	15,0	25,0	25,0	40,0	30,0	50,0
1/100.000	30,0	50,0	50,0	80,0	60,0	100,0

Tabela 09 – Valores planimétricos do desvio padrão e PEC obtidos do decreto-lei 89.817

EQUIDISTÂNCIA (m)	ALTIMETRIA (m)					
	CLASSE – A		CLASSE – B		CLASSE – C	
	$\sigma_{\Delta H}$	PEC	$\sigma_{\Delta H}$	PEC	$\sigma_{\Delta H}$	PEC
0,5	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4
1,0	0,3	0,5	0,4	0,6	0,5	0,8
1,5	0,5	0,8	0,6	0,9	0,8	1,1
2,0	0,7	1,0	0,8	1,2	1,0	1,5
2,5	0,8	1,3	1,0	1,5	1,3	1,9
5,0	1,7	2,5	2,0	3,0	2,5	3,8
12,5	4,2	6,3	5,0	7,5	6,3	9,4
25,0	8,3	12,5	10,0	15,0	12,5	18,8
50,0	16,7	25,0	20,0	30,0	25,0	37,5

Tabela 10 – Valores altimétricos do desvio padrão e PEC obtidos do decreto-lei 89.817

Para a tabela 08 foram encontrados os resultados do erro médio observado ( $\epsilon$ ) e do desvio padrão observado ( $S$ ), demonstrados na tabela 11.

	Diferenças		
	$\Delta N$ (m)	$\Delta E$ (m)	$\Delta H$ (m)
Erro Médio ( $\epsilon$ )	-0,1183	0,2758	0,2970
Desvio Padrão ( $S$ )	0,7248	0,6850	0,1787

Tabela 11 – Erro médio e desvio padrão observado das diferenças

## 7.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS DA COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS

### 7.6.1 Tese de Tendência

Neste teste de hipótese foi levado em conta o erro médio ( $\epsilon_{\Delta N}$ ,  $\epsilon_{\Delta E}$ ,  $\epsilon_{\Delta H}$ ) e o desvio padrão ( $S_{\Delta N}$ ,  $S_{\Delta E}$ ,  $S_{\Delta H}$ ) da tabela 11 para avaliar as diferenças encontradas na tabela 08, se esta é ou não é tendenciosa.

Para hipótese  $H_0$  o erro médio observado ( $\epsilon_{\Delta N}$ ,  $\epsilon_{\Delta E}$ ,  $\epsilon_{\Delta H}$ ) é igual a zero, ou seja, não é tendencioso e para hipótese  $H_1$  o erro médio observado ( $\epsilon_{\Delta N}$ ,  $\epsilon_{\Delta E}$ ,  $\epsilon_{\Delta H}$ ) é diferente de zero, ou seja, é tendencioso.

$$\begin{array}{ll} H_0: \epsilon_{\Delta N} = 0 & H_1: \epsilon_{\Delta N} \neq 0 \\ H_0: \epsilon_{\Delta E} = 0 & H_1: \epsilon_{\Delta E} \neq 0 \\ H_0: \epsilon_{\Delta H} = 0, \text{ contra} & H_1: \epsilon_{\Delta H} \neq 0 \end{array}$$

Para realizar este teste, utilizou-se a distribuição t de Student, com um nível de confiança de 90% ( $t_{0,9}$ ) e o número total de observações ( $n$ ). Com a tabela da distribuição t de Student, localizou-se o valor limite t ( $t_{100, 0,9}$ ) para a amostra observada, demonstrado na tabela 12.

	$\Delta N$	$\Delta E$	$\Delta H$
Limite $t_{100, 0,9}$	1,2901	1,2901	1,2901

Tabela 12 – Valores limite t para análise de tendência

Observando o limite t na tabela 12, calculou-se a tendência para cada eixo observado (N, E, H) pelas formulas abaixo descritas:

$$t_N = \frac{\epsilon_{\Delta N}}{S_{\Delta N}} \cdot \sqrt{n} \qquad t_E = \frac{\epsilon_{\Delta E}}{S_{\Delta E}} \cdot \sqrt{n} \qquad t_H = \frac{\epsilon_{\Delta H}}{S_{\Delta H}} \cdot \sqrt{n}$$

Os valores resultantes do teste de tendência (tabela 13) foram comparados com o valor limite t (tabela 12) para definir se há tendência nos eixos, logo se  $t_N$ ,  $t_E$  e  $t_H$  for menor que 1,2901 não existe tendência nos eixos, ou seja, a base cartográfica está livre de erros sistemáticos, caso contrário a base cartográfica está composta de erros sistemáticos.

	$t_N$	$t_E$	$t_H$
Valor t calculado	1,6315	4,0259	16,6223
Limite $t_{100, 0,9}$	1,2901	1,2901	1,2901
Tendência	SIM	SIM	SIM

Tabela 13 – Análise de tendência

### 7.6.2 Teste de Precisão

No teste de precisão, o teste de hipótese levou em conta o desvio padrão do decreto-lei 89.817 ( $\sigma_{\Delta N}$ ,  $\sigma_{\Delta E}$ ,  $\sigma_{\Delta H}$ ), que pode ser visualizado nas tabelas 09 e 10, e o desvio padrão ( $S_{\Delta N}$ ,  $S_{\Delta E}$ ,  $S_{\Delta H}$ ) da tabela 11 para avaliar as diferenças encontradas na tabela 08, se são ou não são precisas.

Para hipótese  $H_0$  o desvio padrão calculado ( $S_{\Delta N}$ ,  $S_{\Delta E}$ ,  $S_{\Delta H}$ ) é igual ao desvio padrão do decreto-lei ( $\sigma_{\Delta N}$ ,  $\sigma_{\Delta E}$ ,  $\sigma_{\Delta H}$ ), ou seja, o mapeamento atende a precisão pré-estabelecida no decreto-lei 89.817 e para hipótese  $H_1$  o desvio padrão calculado ( $S_{\Delta N}$ ,  $S_{\Delta E}$ ,  $S_{\Delta H}$ ) é diferente ao desvio padrão do decreto-lei ( $\sigma_{\Delta N}$ ,  $\sigma_{\Delta E}$ ,  $\sigma_{\Delta H}$ ), ou seja, o mapeamento não atende a precisão pré-estabelecida no decreto-lei 89.817.

$$H_0: S_{\Delta N} = \sigma_{\Delta N}$$

$$H_1: S_{\Delta N} \neq \sigma_{\Delta N}$$

$$H_0: S_{\Delta E} = \sigma_{\Delta E}$$

$$H_1: S_{\Delta E} \neq \sigma_{\Delta E}$$

$$H_0: S_{\Delta H} = \sigma_{\Delta H}, \text{ contra}$$

$$H_1: S_{\Delta H} \neq \sigma_{\Delta H}$$

Para realizar este teste, utilizou-se a distribuição CHI-Quadrado, com um nível de confiança de 90% ( $\chi^2_{0,9}$ ) e o número total de observações ( $n$ ). Com a tabela da distribuição CHI-Quadrado, localizou-se o valor limite ( $\chi^2_{100,0,9}$ ) para a amostra observada, demonstrado na tabela 14.

	$\Delta N$	$\Delta E$	$\Delta H$
Limite $\chi^2_{100,0,9}$	118,4980	118,4980	118,4980

Tabela 14 – Valores limite  $\chi^2_{0,9}$  para análise de precisão

Com o limite  $\chi^2_{100,0,9}$  definido, foi calculado a precisão do mapeamento nas diversas escalas e ainda para cada eixo observado (N, E, H) usando as formulas abaixo descritas:

$$\chi_N^2 = (n-1) \cdot \left( \frac{\sigma_N}{S_{\Delta N}} \right)^2 \quad \chi_E^2 = (n-1) \cdot \left( \frac{\sigma_E}{S_{\Delta E}} \right)^2 \quad \chi_H^2 = (n-1) \cdot \left( \frac{\sigma_H}{S_{\Delta H}} \right)^2$$

Os valores resultantes (tabela 13) foram comparados com o valor limite  $\chi_{100,0,9}^2$  para definir se o mapeamento atende a precisão pré-estabelecida no decreto-lei 89.817 para os eixos. Logo se  $\chi_N^2$ ,  $\chi_E^2$  e  $\chi_H^2$  for menor que 118,4980 o mapeamento atente a precisão pré-estabelecida no decreto-lei 89.817 para a escala avaliada, caso contrário o mapeamento não atende a precisão pré-estabelecida no decreto-lei 89.817 para a escala avaliada, ver tabelas 15 e 16.

<b>Classe A – Planimétrica</b>			
ESCALA	PRECISÃO	$\chi_N^2$ (Norte)	$\chi_E^2$ (Este)
1:1.000	NÃO	1125,8686	1005,3839
1:2.000	NÃO	281,4671	251,3460
1:3.000	NÃO ( <sup>7</sup> )	125,0965	111,7093
1:4.000	SIM	70,3668	62,8365
1:5.000	SIM	45,0347	40,2154
1:10.000	SIM	11,2587	10,0538
1:25.000	SIM	1,8014	1,6086
1:50.000	SIM	0,4503	0,4022
1:100.000	SIM	0,1126	0,1005

Tabela 15 – Análise de Precisão (Planimétrico)

<b>Classe A – Altimétrica</b>		
EQUIDISTÂNCIA DAS CURVAS	PRECISÃO	$\chi_H^2$ (Altitude)
0,50 m	NÃO	227,6206
1,00 m	SIM	56,9052
1,50 m	SIM	25,2912
2,00 m	SIM	14,2263
2,50 m	SIM	9,1048
5,00 m	SIM	2,2762
12,50 m	SIM	0,3642
25,00 m	SIM	0,0910
50,00 m	SIM	0,0228

Tabela 16 – Análise de Precisão (Altimétrica)

<sup>7</sup> O não atendimento da precisão para esta escala está relacionado exclusivamente ao eixo Norte que teve um valor CHI-Quadrado maior que o limite estabelecido.

### 7.6.3 Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC

O PEC é um indicador estatístico de dispersão, relativo a uma probabilidade de 90%, ou seja, corresponde a uma probabilidade de 1,6449 vezes o desvio padrão observado ( $S_{\Delta N}$ ,  $S_{\Delta E}$ ,  $S_{\Delta H}$ ).

Para classificar um mapeamento pelo PEC, temos que comparar os valores calculados na tabela 19, com os valores do PEC estabelecidos pelo decreto-lei para cada escala, demonstrados na tabela 17 e 18.

VALOR LIMITE DO PEC – PLANIMETRIA			
ESCALA	CLASSE A	CLASSE B	CLASSE C
1:1.000	0,5	0,8	1,0
1:2.000	1,0	1,6	2,0
1:3.000	1,5	2,4	3,0
1:4.000	2,0	3,2	4,0
1:5.000	2,5	4,0	5,0
1:10.000	5,0	8,0	10,0
1:25.000	12,5	20,0	25,0
1:50.000	25,0	40,0	50,0
1:100.000	50,0	80,0	100,0

Tabela 17 – Valor Limite do PEC (Planimetria)

VALOR LIMITE DO PEC – ALTIMETRIA			
EQUIDISTÂNCIA	CLASSE A	CLASSE B	CLASSE C
0,50 m	0,3	0,4	0,5
1,00 m	0,5	0,6	0,8
1,50 m	0,8	0,9	1,1
2,00 m	1,1	1,2	1,5
2,50 m	1,3	1,5	1,9
5,00 m	2,5	3,0	3,8
12,50 m	6,3	7,5	9,4
25,00 m	12,5	15,0	18,8
50,00 m	25,0	30,0	37,5

Tabela 18 – Valor Limite do PEC (Altimetria)

Valor do PEC Calculado para o Mapeamento		
( $\Delta N$ ) Norte	( $\Delta E$ ) Este	( $\Delta H$ ) Altitude
1,1923	1,1267	0,2939

Tabela 19 – Valor do PEC para os Dados do LSA

Os valores resultantes da tabela 19 foram comparados com os valores limites das tabelas 17 e 18 para definir até que escala o mapeamento atende a precisão estabelecida pelo PEC para os eixos analisados. A análise do PEC está demonstrado na tabela 20 e 21.

PEC – PLANIMETRIA			
ESCALA	CLASSE A	CLASSE B	CLASSE C
1:1.000	NÃO	NÃO	NÃO
1:2.000	NÃO	NÃO	SIM
1:3.000	NÃO	SIM	SIM
1:4.000	SIM	SIM	SIM
1:5.000	SIM	SIM	SIM
1:10.000	SIM	SIM	SIM
1:25.000	SIM	SIM	SIM
1:50.000	SIM	SIM	SIM
1:100.000	SIM	SIM	SIM

Tabela 20 – Análise do PEC (Planimetria)

PEC – ALTIMETRIA			
EQUIDISTÂNCIA	CLASSE A	CLASSE B	CLASSE C
0,50 m	SIM	SIM	SIM
1,00 m	SIM	SIM	SIM
1,50 m	SIM	SIM	SIM
2,00 m	SIM	SIM	SIM
2,50 m	SIM	SIM	SIM
5,00 m	SIM	SIM	SIM
12,50 m	SIM	SIM	SIM
25,00 m	SIM	SIM	SIM
50,00 m	SIM	SIM	SIM

Tabela 21 – Análise do PEC (Altimetria)

## 8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No que se refere ao objetivo geral da presente pesquisa, a metodologia proposta para confecção de Base Cartográfica a partir de dados oriundos do Sistema de Laser Scanner Aerotransportado, superou as expectativas.

A Base cartográfica confeccionada através do Sistema LSA, atende as exigências de exatidão posicional, classe A – escala 1:4.000 estabelecidas pelo Padrão de Exatidão Cartográfico – PEC constante no decreto nº. 89.817, de 20 de julho de 1984, portanto à qualidade geométrica deste tipo de mapeamento é evidenciada. Além da certeza do alto nível de confiabilidade e precisão.

### 8.1 QUANTO AO ATENDIMENTO DO PEC PARA O PRODUTO DO LASER SCANNER

Toda carta confeccionada no Brasil deve ser classificada de acordo com as instruções reguladoras previstas no Decreto 89.817/84. De acordo com o referido decreto, os padrões de exatidão planimétricos (ou horizontais), são definidos em função do denominador da escala, enquanto os padrões de exatidão altimétricos (ou verticais), são definidos em função da equidistância vertical.

As cartas, segundo a sua exatidão posicional e precisão, devem ser classificadas nas classes A, B e C, conforme especificado nas tabelas 09 e 10. Logo para a base cartográfica proposta na pesquisa, a classificação está dentro da precisão permitida, ou seja, atende as exigências de precisão para o mapeamento sistemático na escala 1:5.000, com classe A.

Analisando o decreto nº. 89.817 quanto à precisão planimétrica do produto Laser, a base cartográfica confeccionada nesta pesquisa poderia ser classificada como classe A até uma escala de 1:4.000 e com curvas de nível a cada 0,5 m, conforme demonstrado nas tabelas (20 e 21), já que o erro estabelecido pelo PEC para esta escala é de 2,0 m.

O PEC embora tenha sido estabelecido em 1984, ainda é o único método vigente, que avalia a qualidade dos produtos cartográficos gerados no Brasil. A recomendação que se faz a respeito desse indicador de qualidade cartográfica (PEC), é que se faça uma atualização dos parâmetros a serem analisados, observando que os

produtos cartográficos hoje, podem ser originados de distintas fontes de dados, como cartas, imagens digitais (aéreas e orbitais), dados GPS (Global Positioning System), Sistema Laser, como pode ser visto na pesquisa e entre outros.

Para melhorar esta avaliação da qualidade dos produtos cartográficos obtidos, recomenda-se aplicar alguns métodos estatísticos como teste de tendência e teste de precisão.

## 8.2 QUANTO ÀS ANÁLISES ESTATÍSTICAS PARA O PRODUTO GERADO DO LASER SCANNER

Tendo em vista que somente o resultado do PEC não era suficiente para avaliar a exatidão do produto gerado pelo Laser Scanner, utilizou-se de outros métodos estatísticos, como o teste de tendência e o teste de precisão, para avaliar a exatidão da base cartográfica confeccionada.

Observando os resultados obtidos destes testes, podemos verificar que a base cartográfica obtida, apresenta uma tendência em todas as direções, ou seja, a base cartográfica apresenta erros sistemáticos, principalmente na altitude como pode ser visto na tabela 13. Através destes resultados, é recomendável para futuras pesquisas desta tecnologia, analisar os erros sistemáticos do Laser Scanner e quantificar estes, uma vez que, nos resultados desta pesquisa, ficou verificado que o LSA apresentou erros sistemáticos e não aleatórios.

O teste de precisão, mostrou que a base cartográfica obtida apresenta uma precisão maior no eixo das altitudes e uma menor precisão no eixo norte, como pode ser visualizado nas tabelas 15 e 16. Avaliando a precisão cartográfica do produto pelo teste de precisão, conclui-se que o produto gerado pelo laser pode ser classificado como classe A até uma escala de 1:4.000 com curvas de nível até 1 metro.

A precisão atingida pelo LSA pode ser melhorada, pois é de comum conhecimento que um dos principais fatores de influência na precisão é a altura de vôo, pois quanto mais baixo maior é a precisão. Para um levantamento na altura de 1.000 m o desvio padrão dos dados é de aproximadamente 46 cm para planimetria e 14 cm para altimetria e para um levantamento na altura de 2.000 m o desvio padrão dos dados é de 80 cm para planimetria e 24 cm para altimetria. Esta variação do desvio



padrão na planimetria está vinculada principalmente ao sistema inercial IMU do equipamento que tem uma precisão de  $\pm 0,015^\circ$ .

### 8.3 QUANTO AS VANTAGENS DO LASER SCANNER PARA A CONFECÇÃO DE UMA BASE CARTOGRAFIA

Na presente pesquisa verificou-se que o tempo de execução para realizar uma vetorização planialtimétrica utilizando dados provenientes do LSA é bem menor, ou seja, destaca-se em relação a outros processos tecnológicos; Para confecção da base, não foi necessário realizar algumas etapas como, aerotriangulação, a restituição estereoscopia e apoio o de campo de inúmeros pontos, como é realizado para a fotogrametria.

Observou-se também que para realizar a vetorização das imagens do laser não necessitou de uma pessoa altamente qualificada, já que neste processo não é necessária a visão estereoscopia, além da geração automática das curvas de nível pelo Modelo Digital de Terreno – MDT.

### 8.4 QUANTO A APLICAÇÃO DO LASER SCANNER AEROTRANSPORTADO PARA A ÁREA DE CADASTRO TÉCNICO RURAL

Como demonstrado na presente pesquisa, o Sistema de LSA, mostrou-se como uma tecnologia ímpar no que diz respeito a levantamento de informações planialtimétricas da superfície terrestre. Sabe-se que, para planejar, gerenciar ou tomar decisões sob um imóvel rural, se faz necessário conhecer a realidade física da superfície do mesmo, ou seja, conhecer a geometria, a dimensão e a localização do imóvel, bem como, os elementos nos arredores e no interior da área.

Portanto a maior contribuição que o Sistema Laser trás ao cadastro técnico, é o nível de detalhamento e precisão posicional do terreno, retratando de forma fiel a realidade do terreno, viabilizando o levantamento cadastral bem sucedido do uso do solo.

## 8.5 QUANTO AS APLICAÇÕES DO LASER SCANNER AEROTRANSPORTADO

Os usuários da cartografia ainda não se acostumaram com esta tecnologia e necessitam de parâmetros ou trabalhos que informem a real qualidade dos produtos, popularizado o seu uso e ganhando credibilidade junto à classe usuária. Já que aplicação do LSA no mercado é muito ampla.

No período desta pesquisa foram identificados vários trabalhos no Brasil e no exterior que utilizavam dados provenientes do Laser Scanner, tais como: na área da cartografia o mapeamento tridimensional de cidades, como visto na cidade de Tóquio – Japão; na área da engenharia civil em projetos de grandes obras como visto no Canal Portuário de Long Beach – USA; em áreas ambientais para estudo de seqüestro de carbono, como visto na Mata Atlântica – Brasil; em linhas de transmissão para recapacitação de linhas existentes, como visto na Rússia; em gasodutos para padronização e gerenciamento de dutos, como visto na PETROBRÁS – Brasil; em projetos rodoviários para determinação de corte/aterro, como visto na Venezuela; em bacias hidrográficas para determinação de potencial hidrelétrico, como visto na COPEL – Brasil; em área de reflorestamento para cálculos volumétricos da biomassa, como visto na Suécia; entre outros.

Cabe ressaltar que estes resultados obtidos nesta pesquisa estão vinculados diretamente com o tipo de sistema laser adotado, ALTM 2050, e a altura de vôo, pois para outros sistemas e outras alturas estes resultados podem variar, já que é uma nova tecnologia mercado e ainda está em fase de aperfeiçoamento.

## 8.6 RECOMENDAÇÕES

É recomendável o Laser Scanner Aerotransportado, na geração e atualização de bases cartográficas precisas, não somente um complemento para aerofotogrametria na parte altimétrica, como é de comum conhecimento. Com as imagens do laser é possível realizar uma vetorização cartográfica, como pode ver acompanhado este trabalho. Com os estudos de interpretação foi possível identificar vários objetos da superfície levantada.

A associação dos dados do LSA, com imagens digitais de pequeno formato (câmaras de alta resolução) pode proporcionar produtos a comunidade cartográfica,

entre eles bases cartográficas, feições do terreno georreferenciados e identificados através da interpretação dos objetos.

Para a melhoria de precisão nas aplicações do LSA, é recomendável a calibração periódica deste equipamento, uma vez que de praxe mundial e deveria ser de praxe aqui no Brasil a realização de vôos de calibração altimétrica e planimétrica para cada nova missão.

Na calibração do LSA são apresentados os resultados das análises estatísticas dos erros encontrados, os parâmetros resultantes, bem como a metodologia adotada em relatório de conclusão dos serviços.

Face à dificuldade de encontrar literatura dessa nova tecnologia, torna-se necessário que os usuários e os profissionais da área da cartografia, troquem informações e experiências com empresas e profissionais que trabalham com o sistema Laser Scanner, para que a tecnologia seja aceita no mercado nacional.

As potencialidades desse sistema no mundo, têm surpreendido, a cada ano que passa, é notório o crescimento de aplicações desse sistema em diversas áreas. Isso se dá em função da coleta, processamento e rapidez de obter produto. No Brasil há uma resistência em relação aos produtos gerados a partir desse sistema. Talvez se deva pensar em trabalhar com a aerofotogrametria junto ao sistema laser.

## 9. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ACKERMANN, F. (1999). **Airborne LASER Scanning: present status and future expectations** - ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54 , pp. 64-67
- BALTSAVIAS, E.P. (1999a). **Airborne Laser Scanning: Basic Relations and Formulas**, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54 :199–214.
- BALTSAVIAS, E.P. (1999b). **Airborne Laser Scanning: Existing Systems And Firms and Other Resources**. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54 164–198.
- BALTSAVIAS, Emanuel P., (1999c). **A comparison between Photogrammetry and LASER scanning**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54, pp. 83-94.
- BARBER, D., MILLS, J., BRYAN, P. (2001). **Laser Scanning and Photogrammetry: 21st Century Metrology**. CIPA 2001 International Symposium. Surveying and Documentation of Historic Buildings - Monuments - Sites Traditional and Modern Methods, Proceedings, Germany.
- BÄHR, H. P. (1982). **Base Elementos básicos do cadastro territorial**. In: 1º Curso Intensivo de Fotogrametria e Fotointerpretação aplicadas à Regularização Fundiária e 1º Curso Intensivo de Cadastro Técnico de Imóveis Rurais, Curitiba - PR.
- BÄHR, H. P., CENTENO, J., STEILE, E., VÖGTLE T. **Aerolevantamento com Laser Scanning. Resultados da Cooperação TOPOSYS e Universidade de Karlsruhe/Alemanha**. XX Congresso Brasileiro de Cartografia. Porto Alegre, 2001.
- BITTENCOURT, L.R.; LOCH, C. (1998). **O Uso das Séries Históricas de Fotografias Aéreas para Monitoramento Físico-Espacial de Propriedades Rurais Visando a Avaliação da Legalidade das Posses**. In: 3º COBRAC, Florianópolis – SC.
- BLACHUT, T. J. ET AL. (1974). **Cadastre: Various functions characteristics techniques and the planning of land record system**. Canadá, National Council.
- BRANDALIZE, M. C. B (2004). **A Qualidade Cartográfica dos Resultados do Laser Scanner Aerotransportado**, tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFSC, Florianópolis.
- BRANDÃO, A. C.; ROCHA, R. S.; PHILIPS, J. (2001). **Exatidão Posicional do Cadastro Imobiliário**, In Anais do XX Congresso Brasileiro de Cartografia, Porto Alegre – RS.
- BRASIL, Decreto-Lei n. 1.177 de 21 de junho de 1971. **Dispõe sobre aerolevantamento no território nacional**. Diário Oficial da União, 1971.
- BRASIL, Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984. **Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Brasília, Diário Oficial da União, 1984.

CENTENO J. S., STEINLE E., VÖGTLE T., (2000). **Análise De Modelos Numéricos de Elevação Derivados De Laser Scanner Para O Monitoramento Urbano**. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – COBRAC, Florianópolis, SC.

CINTRA, J. P, IDOETA, I. V., (2003). **Elaboração de Bases Cartográficas para Projetos de Engenharia: a relação entre produtor e usuário**. XXI Congresso Brasileiro de Cartografia – CBC, Belo horizonte, MG.

CINVA (1960). **A Carta dos Andes**. São Paulo.

CROSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. UNICAMP, Campinas – SP, 1992.

DALE, P. F., MC LAUGHLIN, J. D. (1990). **Land Information Management – An Introduction with Special Reference to Cadastral Problems in Third World Countries**. Oxford University Press. New York.

**DAEDALUS ATM (Airborne Thematic Mapper)**. Natural Environment Reserarch Council. <http://www.nerc.ac.uk/arsf/Pages/Instruments/ATM.htm>. Página consultada em 03/01/2004.

DUBAYAH, R. O. et al (2000). **Land surface characterization using LIDAR remote sensing**. In: Spatial information for land use management. Singapore: International Publishers Direct.

ESTEIO. (2004). <http://www.lidar.com.br>, website.

FIG – Federação Internacional dos Geômetras (2000). Declaração da FIG Sobre o Cadastro. [http://geodessia.ufsc.br/gutenberg/FIG/statement/FIG\\_decl\\_BR.htm](http://geodessia.ufsc.br/gutenberg/FIG/statement/FIG_decl_BR.htm). Acessado em 22março de 2004.

FIG – Federação Internacional dos Geômetras (1995). **Statement on the Cadastre, International Federation of Surveyors, FIG Bureau**. Canberra, Australia.

FERRARI, C., (1989). **Curso de planejamento municipal integrado**. Ed. São Paulo, Pioneira, São Paulo, SP.

FERREIRA, L.F. E L.C. OLIVEIRA (1994). **Estudo Sistemático de Transformações Geométricas**. Trabalho da disciplina de Tópicos Especiais de Ajustamento em Geodésia e Topografia – Doutorado – EPUSP, São Paulo, SP.

FLOOD, M. (2003). **Laser altimetry: from science to commercial LIDAR mapping**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. EUA.

FLOOD, M. (2003). **Industry directory**. <http://airbonelasermapping.com>. Acessado em 23 outubro de 2003.

FREIBERGER JUNIOR, J. (2002). **Análise da degradação do posicionamento em tempo real como o emprego do GNRT**. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR. Curitiba – PR.

GEMAEL, C., (1994). **Introdução ao Ajustamento de Observações** – Aplicações Geodésicas. Editora UFPR, Curitiba, PR.

GEMAEL, C., (1976). **Sistema de Projeção**. Universidade Federal do Paraná. UFPR, Curitiba, PR.

HENSSEN, J. (1995). **Basic Principles of the Main Cadastral Systems in the World**. In Proceedings of the One Day Seminar held during the Annual Meeting of Commission 7, Cadastre and Rural Land Management, of the International Federation of Surveyors (FIG), May 16, Delft, The Netherlands. Disponível em: <http://www.swisstopo.ch/fig-wg71/Docs/Cad2014/>. Acessado em: 03 agosto 2004.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapeamento Topográfico**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/disseminação/producoserviço/catálogo/documcartog/sumáriodocumentodecartografia.shtm>. Acessado em (2003a).

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Grupos de Trabalho e suas Atribuições**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/ibge/geografia/seminar/seminário.html>. Acessado em (2003b).

JONAS, D. E BYRNE, P. (2003). **Airbone laser scanning**: beyond its formative years. In: Spatial Sciences Conference – Spatial Knowledge without Boudaries, Canberra.

KRUEGER, C. P. (1996). **Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho**. Tese de Doutorado em Ciências Geodésicas – Departamento de Geociências, Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR.

LACTEC. (2004). <http://www.mapeamentoalaser.com.br>, website.

LARSSON, G. (1991). **Land Registration and Cadastral Systems: Tools for Land Information and Management**. Longman Scientific and Technical. England.

LILLESAND, T. M. E KIEFER, R. W. (200). **LIDAR**. In: **Remote sensing and image interpretation**. 4 ed. New York: John Wiley & Sons.

LOCH, C. E KIRCHNER, F.F. (1989). **Sensoriamento remoto aplicado ao planejamento regional**. Curitiba, PR.

LOCH, C. E KIRCHNER, F. F. (1988). **Cadastro: a base do planejamento regional**. In: Anais do I Encontro Brasileiro de Economia Florestal, Curitiba.

LOCH, C. (1990). **Monitoramento global e integrado de propriedades rurais a nível municipal, utilizando técnicas de sensoriamento remoto**. Florianópolis, SC, Ed. UFSC.

LOCH, C. (1990a). **Importância do Cadastro Técnico no planejamento urbano**. In X Encontro Nacional de Construção, Gramado - RS.

LOCH, C. (1993). **Cadastro técnico rural multifinalitário como base à organização espacial do uso da terra no nível de propriedade rural**. Tese para Professor Titular, Florianópolis, SC.

LOCH, C. (1995). **Importância do cadastro técnico multifinalitário para instrumentalização de prefeituras**. I CONBRAFT, Cachoeira do Sul, RS.

LOCH, C. (2002). **A interpretação de Imagens Aéreas. Noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais**. 4ª Edição, Florianópolis, SC.

LOCH, R. E. M. (1994). **Algumas considerações sobre base cartográfica - Anais**. 1º COBRAC. Florianópolis, SC.

MANUE, D. F. et al. (2001). **Introduction**. In: MAUNE, D. F. (Ed.). Digital elevation model technologies and applications: the DEM users manual. Bethesda: ASPRS cap. 1, p 1-34.

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

MAACK, R. (1981). **Geografia Física do Estado do Paraná**. José Olimpio, rio de Janeiro – RJ.

MARTINELLI, M. (1991). **Curso de cartografia temática**. São Paulo, SP

MARTINS, M. A. R., FELIX, D., KERSTING, A. P. B. (2004). **Análise do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) para dados provenientes do sistema laser – ALTM 2050**. In: 3º COBRAC, Florianópolis – SC.

MELLO, M. P. (2002). **Generalização Cartográfica - Anais**. 5º COBRAC, Florianópolis, SC.

MENEZES, D. L. de, (1935). **Abecedário da teoria dos erros e do cálculo das compensações pelo método dos mínimos quadrados**. Imprensa Nacional, Rio de Janeiro, RJ.

MERCHANT, D. C. (1984). **Spatial Accuracy Standards for Large Scale Line Maps**. In: Technical Papers of the American Congress on Surveying and Mapping, 222-231.  
OLIVEIRA, C. (1993) **Dicionário Cartográfico**. 4. Ed. IBGE, Rio de Janeiro, RJ.

NERO, M. A; CINTRA, J. P. (2001). **Documentos Cartográficos – Determinação do PEC**, In Anais do XX Congresso Brasileiro de Cartografia, Porto Alegre – RS.

OLIVEIRA, C. (1993). **Dicionário Cartográfico**. 4. Ed. IBGE, Rio de Janeiro, RJ.

OLIVEIRA, F. H. (1996) **Qualidade da base cartográfica para o Cadastro Técnico Multifinalitário**, dissertação de mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFSC, Florianópolis.

OPTECH. (2004). <http://www.optec.on.ca>, website.

OREA, D. G. (1978). **El medio físico y la planificación I**. Madrid, CIFCA.

PEREIRA, K. D. et al. (2003). **Atualização da Legislação Cartográfica - Necessidade Nacional**. XXI Congresso Brasileiro de Cartografia – CBC, Belo horizonte, MG.

PHILIPS, J. (1996). **Os Dez Mandamentos para um Cadastro de Bens Imobiliários - Anais**. 2º COBRAC. Florianópolis, SC.

PHILIPS, J. (2004). **O Cadastro Técnico Multifinalitário - Tentativa de uma Definição**. Disponível em: [http://www.mundogeo.com.br/scripts/busca\\_1.asp?busca=Jurgen+Philips](http://www.mundogeo.com.br/scripts/busca_1.asp?busca=Jurgen+Philips). Acessado em 15 de agosto 2004.

RECH, J. V (1997) **Base cartográfica digital comum para concessionárias de serviços públicos e prefeituras, utilizando-se SIG (Sistema de Informação Geográfica)**, dissertação de mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFSC, Florianópolis.

RENUNCIO, L. E. (1995). **Integração do Cadastro Técnico Multifinalitário a Sistemas de Informações Geográficas visando a implantação de um reservatório para abastecimento de água no município de Cocal do Sul - SC**. Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC. Florianópolis, SC.

RUTHKOWSKI, E. L. B. (1987). **Cadastro técnico rural – Situação e expectativa**. In: Seminário Nacional de Cadastro Técnico Rural e Urbano, Curitiba.

SCHÄFER, A. G., (2004). **A Tecnologia LIDAR no Mercado Brasileiro**. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico e Multifinalitário – COBRAC, Florianópolis, SC.

SEIFFERT, N. (1996).. **Uma contribuição ao processo de otimização do uso dos recursos ambientais em microbacias hidrográficas**. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção - UFSC, Florianópolis, SC.

SEVERINO, J., (1986). **Planejamento e administração da empresa rural**. UFPR/CCA, Curitiba, PR.

SILVA, E. A, TELLES, J. D. L. (2002). **Novas tecnologias em cartografia no estudo do meio ambiente**. In: Encontro Nacional dos Centros de Referência do Movimento de Cidadania pelas Águas. Petrópolis, RJ.

SILVA, T. F. (1979). **Um conceito de Cadastro Metropolitano**. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR. Curitiba – PR.



TOMMASELLI, A. M. G., SANTOS, D. R. (2000). **Uma estratégia para extração semi-automática de feições com análise do MNE**. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico e Multifinalitário – COBRAC, Florianópolis, SC.

VOSELMAN, G.; MAAS, H. G. (2001). **Adjustment and filtering of raw laser altimetry data**. In: **Proceedings OEEPE workshop on Airbone Laserscaning and Interferometric SAR for Detailed Digital Elevation Models**. n. 40, pp.62-72.

WEHR, A. E LOHR, U. (1999). **Airborne Laser Scanning: an introduction and overview**. ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing (54)2-3 pp. 68-82.

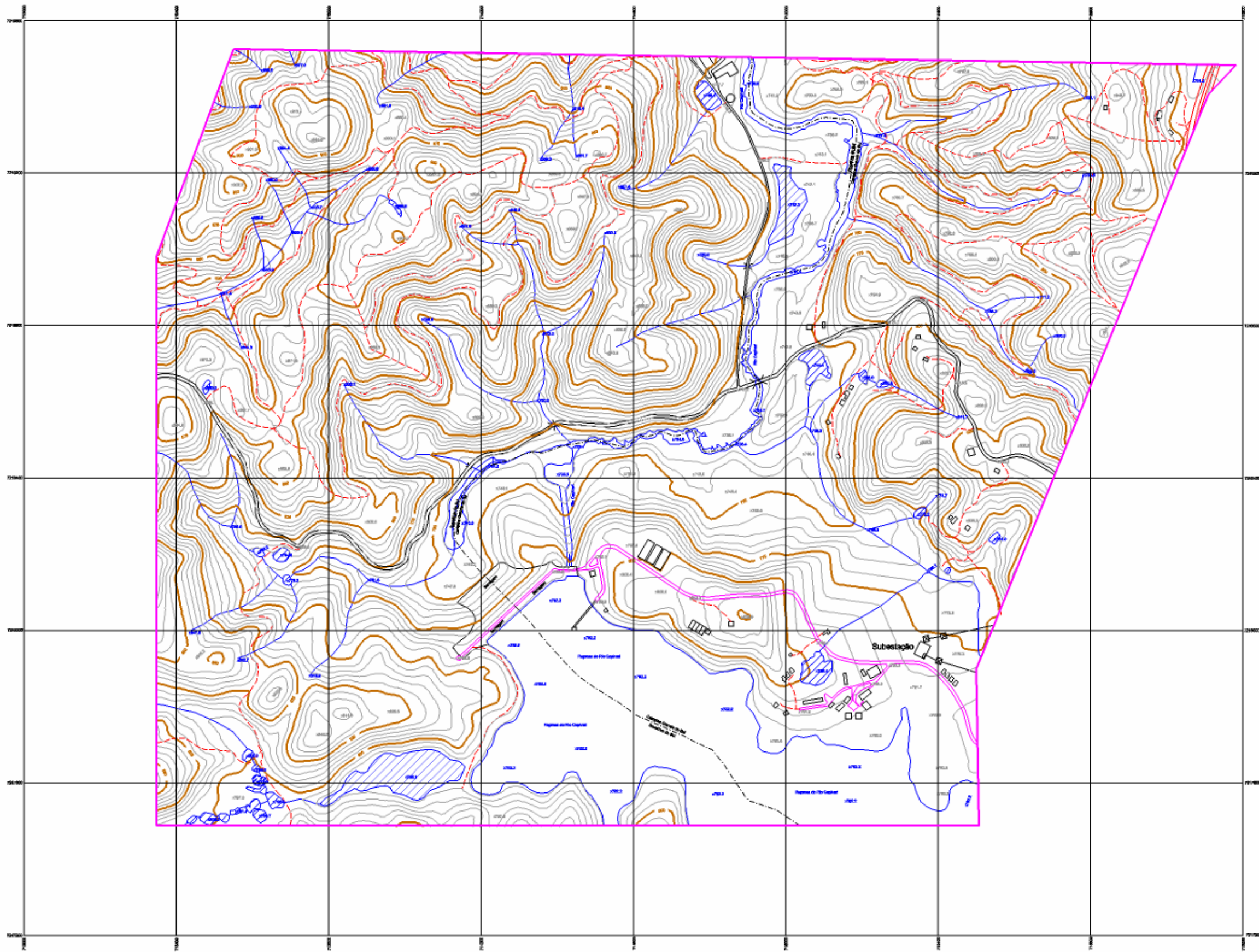
WEVER, C. E LINDENBERGER, J. (1999). **Experiences of 10 years laser scanning**. In: Photogrammetric Week, Stuttgart. P. 125 -132.

WILLGALIS, S.; SEEBER, G.; KRUEGER, C. P.; ROMÃO, V. M. C. (2002). **A real time reference network for Recife, Brazil, enabling precise and reliable cadastral surveys**. In: FIG XXII INTERNATIONAL CONGRESS, 2002, Washington, D.C. USA. Presented paper, p. 1-14.

WONS, I. (1993). **Geografia do Paraná**. (5 ed.). Curitiba – Paraná.

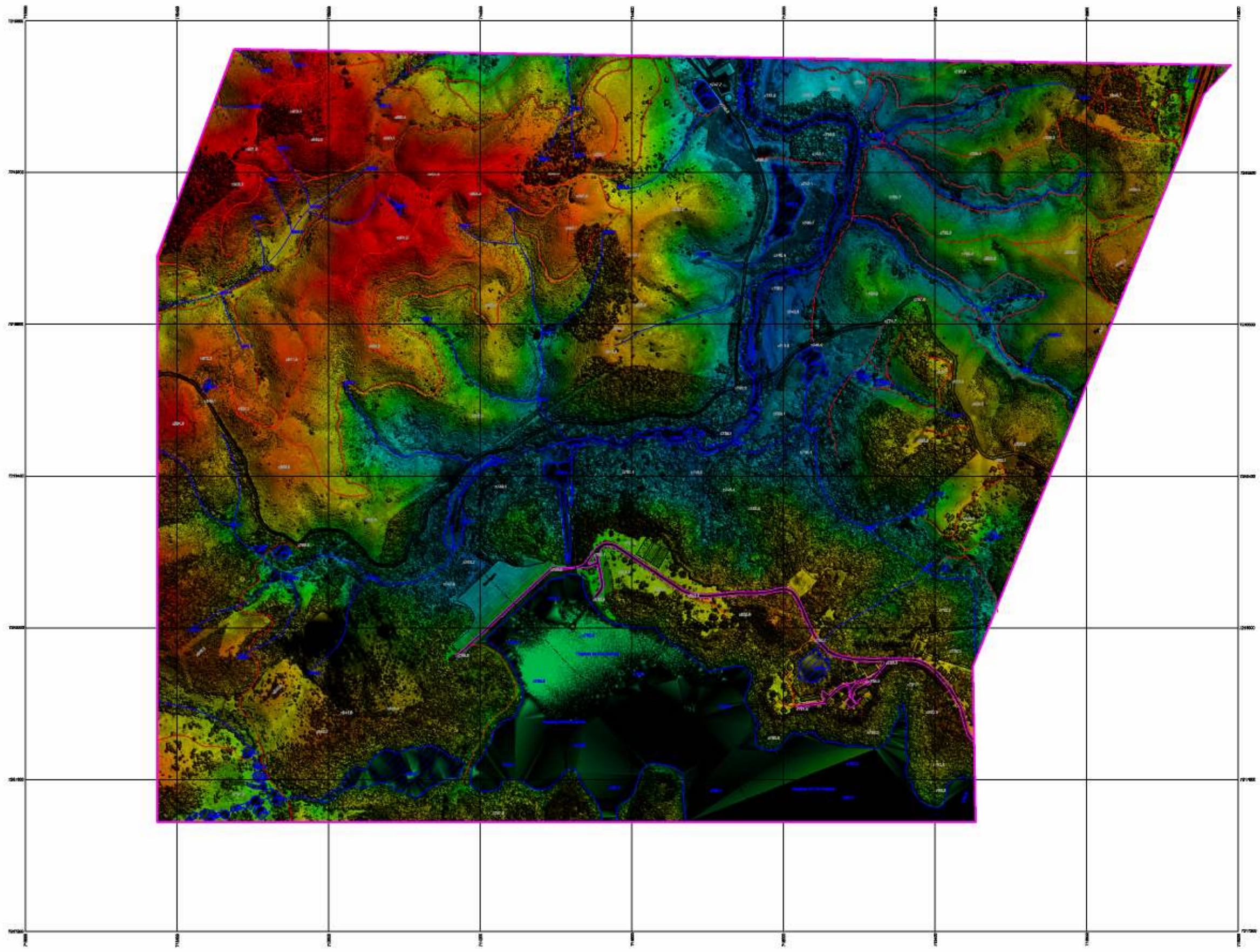
ZAMPIERI, S. L.; ROSOT, N. C.; DUARTE, S. B.; LOCH, C (2000). **Mapas sugeridos para implementar cadastros técnicos multifinalitários para o meio rural em apoio aos sistemas integrados de gestão ambiental**. In: COBRAC 3º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Anais. UFSC, Florianópolis – SC.

## **ANEXOS 01 – BASE CARTOGRÁFICA VETORIZADA COM DADOS LASER**



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS			NORTE	DADOS TÉCNICOS	LOCALIZAÇÃO DA FOLHA	ARTICULAÇÃO	RIO CAPIVARI/PR	
<p>RODEADA FEDERAL (AV. / RUA FAV.)</p> <p>RODEADA ESTADUAL (AV. / RUA EST.)</p> <p>RODEADA MUNICIPAL (AV. / RUA MUN.)</p> <p>ARRUAMENTO (C/DA URBANA)</p> <p>SEÇÃO TRANSVERSAL</p> <p>DESTAQUE DE DRENAGEM</p> <p>LINHA DE TRANSMISSÃO</p> <p>DIVISÃO MUNICIPAL</p>	<p>CURVA DE NÍVEL - METRA</p> <p>CURVA DE NÍVEL</p> <p>PISTE COTADO</p> <p>NÍVEL E ÁREA</p> <p>PERÍMULO</p> <p>PARTE VISIVEL E INVISIVEL</p> <p>PARTE E. PARTE</p>	<p>REDEADA RIO PERMANENTE/INTERMITENTE</p> <p>LAJÃO, LARVA, PEIXE/INFERNO</p> <p>BARREIRAS</p> <p>MODELAÇÃO</p> <p>CANAL</p> <p>CONCRETO/ALVENARIA</p> <p>PROTEÇÃO</p> <p>LINHA DE RESTRIÇÃO</p>	<p>DECLINAÇÃO MAGNÉTICA EM 1/1/2004</p> <p>E CORREÇÃO DA REDEADA</p> <p>DO LANTERNA DA FOLHA</p> <p>N. N. N. D. N. D.</p> <p>-10°12' 54'35"</p> <p>A DECLINAÇÃO MAGNÉTICA</p> <p>ORIENTE - 5° SINALIZADA</p>	<p>PROJETO UNIVERSAL TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA - 5TH</p> <p>PROJETO DE BARRAGEM E REDEADA GERAL DE 11.000 M<sup>2</sup></p> <p>COORDENADA UTM (SISTEMA UTM 18 S - ZONA 18 S - 500.000 M DE OESTE PARA O LESTE)</p> <p>COEFICIENTE DE DIFERENÇA LINEAR 1:20 (SINALIZADA)</p> <p>DETAHE VERTICAL 1:2000</p> <p>DETAHE HORIZONTAL 1:2000</p> <p>DETAHE DE 1:2000</p> <p>DETAHE DE 1:2000</p>	<p>ESTADO DO PARANÁ</p>	<p>FRANCHA ÚNICA</p>	<p>ESCALA 1 / 5.000</p> <p>PRANCHA ÚNICA</p>	<p>VECTORIZAÇÃO PLANIMÉTRICA E ALTIMÉTRICA</p> <p>ÁREA DE ESTUDO: BARRAGEM DO RIO CAPIVARI</p> <p>AUTORA DE PROJEÇÃO: LUANA SLOBODA</p>

## **ANEXOS 02 – CARTA IMAGEM DA HIPSOMETRIA**



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS			NORTE	DADOS TÉCNICOS	LOCALIZAÇÃO DA FOLHA	ARTICULAÇÃO	RIO CAPIVARI/PR	
<p>REGIÃO FEDERAL, PAU, SAA, PAU</p> <p>REGIÃO ESTADUAL, PAU, SAA, PAU</p> <p>REGIÃO MUNICIPAL, PAU, SAA, PAU</p> <p>ARRANJADO (CADA UNIDADE)</p> <p>DESCRIÇÃO TRANSVERSAL</p> <p>DESCRIÇÃO LONGITUDINAL</p> <p>DESCRIÇÃO DIAGONAL</p> <p>DESCRIÇÃO VERTICAL</p>	<p>DESCRIÇÃO DE NÍVEL - COSTA</p> <p>DESCRIÇÃO DE NÍVEL</p> <p>DESCRIÇÃO DE NÍVEL</p> <p>DESCRIÇÃO DE NÍVEL</p> <p>DESCRIÇÃO DE NÍVEL</p> <p>DESCRIÇÃO DE NÍVEL</p> <p>DESCRIÇÃO DE NÍVEL</p> <p>DESCRIÇÃO DE NÍVEL</p>	<p>DESCRIÇÃO DE NÍVEL - INTERMEDIÁRIA</p> <p>DESCRIÇÃO DE NÍVEL - INTERMEDIÁRIA</p> <p>DESCRIÇÃO DE NÍVEL - INTERMEDIÁRIA</p> <p>DESCRIÇÃO DE NÍVEL - INTERMEDIÁRIA</p> <p>DESCRIÇÃO DE NÍVEL - INTERMEDIÁRIA</p> <p>DESCRIÇÃO DE NÍVEL - INTERMEDIÁRIA</p> <p>DESCRIÇÃO DE NÍVEL - INTERMEDIÁRIA</p> <p>DESCRIÇÃO DE NÍVEL - INTERMEDIÁRIA</p>	<p>DECLINAÇÃO MAGNÉTICA DE JUN/2004 E CORREÇÃO DE REFERÊNCIA DO CENSO DA FOLHA</p> <p>N. M. N. D. N. D.</p> <p>-19°12' 54'35"</p> <p>A DECLINAÇÃO MAGNÉTICA DEVE -07' ANUALMENTE</p>	<p>PROJETO UNIVERSAL TRANSVERSAL DE REGIÃO - 5TH PROJETO UNIVERSAL TRANSVERSAL DE REGIÃO - 5TH PROJETO UNIVERSAL TRANSVERSAL DE REGIÃO - 5TH PROJETO UNIVERSAL TRANSVERSAL DE REGIÃO - 5TH PROJETO UNIVERSAL TRANSVERSAL DE REGIÃO - 5TH PROJETO UNIVERSAL TRANSVERSAL DE REGIÃO - 5TH PROJETO UNIVERSAL TRANSVERSAL DE REGIÃO - 5TH PROJETO UNIVERSAL TRANSVERSAL DE REGIÃO - 5TH</p> <p>COORDENADAS UTM (PROJ. UTM) - 22S EQUADORIAL: 700.000,00 M EQUADORIAL: 700.000,00 M EQUADORIAL: 700.000,00 M EQUADORIAL: 700.000,00 M EQUADORIAL: 700.000,00 M EQUADORIAL: 700.000,00 M EQUADORIAL: 700.000,00 M EQUADORIAL: 700.000,00 M</p> <p>ESCALA GRÁFICA 1:5.000</p>		<p>FRANCHA ÚNICA</p>	<p>ESCALA 1 / 5.000</p> <p>VECTORIZAÇÃO PLANIMÉTRICA E ALTIMÉTRICA</p> <p>FRANCHA ÚNICA</p> <p>BARRAGEM DO RIO CAPIVARI</p> <p>LUANA SLOBODA</p>	