

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

APLICAÇÃO DE PRODUTOS FOTOGRAMÉTRICOS E DO SENSOR LASER
SCANNER EM PROJETOS RODOVIÁRIOS – ESTUDO DE CASO: TRECHO
DA SC-414

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.

ALEXANDRO GULARTE SCHÄFER

Florianópolis, fevereiro de 2004

APLICAÇÃO DE PRODUTOS FOTOGRAMÉTRICOS E DO SENSOR LASER SCANNER
EM PROJETOS RODOVIÁRIOS – ESTUDO DE CASO: TRECHO DA SC-414

ALEXANDRO GULARTE SCHÄFER

Dissertação 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.

Profª. Henriette Lebre La Rovere - Coordenadora do PPGEC

Profª. Drª. Ruth E. N. Loch - Orientadora

COMISSÃO EXAMINADORA:

Ruth E. N. Loch, Drª. – Moderador – ECV/UFSC

Dr. Francisco Carlos Bragança de Souza - UFRGS

Dr.-Ing. Jürgen W. Philips - ECV/UFSC

Dr. Rutsnei Schmitz – EGR/UFSC

Drª. Eugênia Karnaukhova – ECV/UFSC

Florianópolis, fevereiro de 2004

In memoriam, à minha avó Eloá.

AGRADECIMENTOS

À prof. Ruth, não apenas pela sua amizade, dedicação e excelente orientação, mas também por sua participação decisiva no desenvolvimento dos estudos.

À minha família.

Ao LabFSG – Laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento do Departamento de Engenharia Civil – UFSC pelos materiais e equipamentos disponibilizados durante o período de realização dos estudos.

Ao prof. Dr. Waldir Terra Pinto pelo empenho em despertar em seus orientandos o interesse pela pesquisa e pela carreira acadêmica.

Ao DEINFRA – SC por ceder os materiais que permitiram a realização deste estudo.

A empresa ESTEIO S.A. pelo conhecimento adquirido durante o período de estágio na empresa em especial ao Sr. Engº Amauri e ao Sr. Engº Pauletto, pelas conversas e discussões que possibilitaram a ampliação do conhecimento e um melhor entendimento sobre assuntos tratados na dissertação.

Ao LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento vinculado à UFPR, em especial ao Sr. Engº Maurício, por ceder material referente ao Laser Scanner e pelo aprendizado que foi fundamental para o desenvolvimento do estudo proposto.

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

Ao Centro de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, do Ministério da Educação e Cultura, pelo auxílio financeiro para o curso de mestrado.

Aos membros da comissão examinadora Prof. Dr. Francisco Carlos Bragança de Souza, Prof. Dr. Rutsnei Schmitz, Prof. Dr. Jürgen Philips, Drª Eugênia Karnaukhova pela honra que nos concederam em aceitar nosso convite para a composição desta banca e pelas valiosas contribuições.

MUITO OBRIGADO A TODOS.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	viii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1 INTRODUÇÃO	01
1.1 JUSTIFICATIVA.....	01
1.2 OBJETIVOS.....	05
1.2.1 Objetivo Geral.....	05
1.2.2 Objetivos Específicos.....	05
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	05
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	07
2.1 A INSERÇÃO DA QUESTÃO AMBIENTAL EM PROJETOS DE INFRA- ESTRUTURA.....	07
2.2 PROJETOS RODOVIÁRIOS E MEIO AMBIENTE.....	09
2.3 UTILIZAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO EM PROJETOS DE RODOVIAS.....	13
2.4 CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO.....	21
2.5 FOTOGRAMETRIA.....	23
2.6 ORTOFOTO DIGITAL.....	25
2.7 FOTOINTERPRETAÇÃO.....	26
2.8 MODELAGEM DO TERRENO.....	27
2.8.1 Definição de Modelo Digital do Terreno e Modelo Digital de Elevação.....	28
2.8.2 Estrutura geométrica.....	29
2.8.3 Modelagem do terreno em projetos de Engenharia Civil.....	30
2.9 SENSOR LASER SCANNER AEROTRANSPORTÁVEL.....	31
2.9.1 Funcionamento.....	32
2.9.1.1 Radiação LASER.....	33
2.9.1.2 LASER.....	34

2.9.1.3	Escaneamento.....	35
2.9.1.4	Sistemas de posição e orientação.....	38
2.9.1.5	Determinação de pontos LASER.....	39
2.9.1.6	Registro da intensidade dos pulsos LASER.....	42
2.9.1.7	Primeiro e último eco do pulso LASER.....	42
2.9.2	Histórico.....	42
2.9.3	Aplicação da tecnologia lidar em engenharia rodoviária.....	43
3	ÁREA DE ESTUDO, MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	45
3.2	MATERIAIS UTILIZADOS.....	50
3.2.1	Recursos de Cartografia e de Sensoriamento Remoto utilizados.....	50
3.2.2	Equipamentos utilizados.....	51
3.3	MÉTODO.....	51
3.3.1	Visitas e Entrevistas à Empresas e Instituições.....	53
3.3.2	Tratamento dos dados provenientes do sensor Laser Scanner.....	53
3.3.3	Levantamento do Uso Atual da Terra Utilizando Fotointerpretação.....	56
3.3.4	Geração de Modelo Digital do Terreno (MDT) e Modelo Digital de Elevação (MDE).....	58
3.3.5	Geração de MDT e MDE com adição do anteprojeto geométrico da rodovia SC-414.....	60
3.3.6	Criação de Cartas de Declividade.....	62
3.3.7	Análise Temática da Faixa de Domínio e de Propriedades Rurais.....	63
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	65
4.1	VISITAS E ENTREVISTAS À EMPRESAS E INSTITUIÇÕES.....	65
4.2	TRATAMENTO DOS DADOS PROVENIENTES DO SENSOR LASER SCANNER.....	66
4.2.1	Filtragem dos pontos Laser Scanner.....	66
4.2.2	Classificação dos pontos Laser Scanner.....	69
4.2.3	Edição manual dos pontos Laser Scanner.....	71
4.3	ANÁLISE DO MOSAICO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS.....	74

4.3.1 Levantamento do Uso Atual da Terra.....	74
4.4 GERAÇÃO DE MDT E MDE DA ÁREA DE ESTUDO	84
4.5 GERAÇÃO DE MDT E MDE COM A SIMULAÇÃO DA RODOVIA SC-414.....	90
4.6 CARTAS DE DECLIVIDADE.....	93
4.7 ANÁLISE TEMÁTICA DA FAIXA DE DOMÍNIO E DE PROPRIEDADES RURAIS.....	97
4.7.1 Análise Temática da Faixa de Domínio.....	97
4.7.2 Análise de Propriedades Rurais: Exemplo.....	101
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	106
5.1 CONCLUSÕES.....	106
5.1.1 QUANTO AO MOSAICO DE ORTOFOTOS.....	106
5.1.2 QUANTO À TECNOLOGIA LIDAR.....	106
5.1.3 QUANTO A INTEGRAÇÃO DOS PRODUTOS DO SENSOR LASER SCANNER, MOSAICO DE ORTOFOTOS, CADASTRO TÉCNICO, RESTITUIÇÃO E ANTEPROJETO GEOMÉTRICO DA RODOVIA SC-414.....	107
5.2 RECOMENDAÇÕES.....	109
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	- Um típico sistema ALS.....	32
Figura 2	- Ângulo de escaneamento e largura da faixa de escaneamento.....	35
Figura 3	- Mecanismos de escaneamento típicos do sensor Laser Scanner.....	37
Figura 4	- Padrão de escaneamento de sistemas ALS que utilizam espelhos oscilantes.....	37
Figura 5	- Padrão de escaneamento de sistemas ALS que utilizam “Fiber Scanner”.....	38
Figura 6	- Fluxograma de processamento dos Dados do sensor Laser Scanner.....	41
Figura 7	- Localização da área de estudo.....	46
Figura 8	- Mosaico de ortofotos da área de estudo.....	47
Tabela 1	- Dados populacionais dos municípios de Luís Alves e Gaspar.....	50
Figura 9	- Fluxograma de execução dos trabalhos.....	52
Figura 10	- Fluxograma de tratamento de dados derivados do sensor Laser Scanner.....	54
Figura 11	- Processo de construção de parte do MDT.....	59
Figura 12	- Anteprojeto geométrico de parte da rodovia SC-414.....	61
Quadro 1	- Classes de declividade adotadas.....	63
Figura 13	- Problemas na filtragem da nuvem de pontos Laser Scanner: elementos baixos (próximos à superfície terrestre).....	67
Figura 14	- Problemas na filtragem da nuvem de pontos Laser Scanner: declive acentuado.....	68
Figura 15	- Problemas na filtragem da nuvem de pontos Laser Scanner: sobreposição de faixas.....	68
Figura 16	- Problemas na filtragem da nuvem de pontos Laser Scanner: pontes.....	69
Tabela 2	- Número de pontos Laser Scanner por layer após a classificação.....	70
Figura 17	- Problemas na classificação da nuvem de pontos Laser Scanner: a) somente alguns pontos foram classificados como construção; b) nenhum ponto foi classificado como construção.....	70
Figura 18	- Problemas na classificação da nuvem de pontos Laser Scanner: a) áreas com declive acentuado; b) árvore próxima à construção; c) ponte.....	71
Figura 19	- Pontos classificados corretamente como construção.....	71
Figura 20	- Pontos Laser Scanner após edição manual.....	72
Figura 21	- Vista em corte dos pontos LASER após edição manual.....	72
Figura 22	- Foto mostrando aproximadamente a cena da figura 21.....	73
Tabela 3	- Comparação entre o número de pontos definidos como superfície terrestre	73

	e demais layers antes e após edição manual.....	
Figura 23	- Identificação de vegetação densa.....	73
Figura 24	- Identificação de vegetação rala.....	76
Figura 25	- Identificação do reflorestamento de eucaliptos.....	77
Figura 26	- Identificação do reflorestamento de pinus.....	78
Figura 27	- Identificação de pastagem.....	79
Figura 28	- Identificação de solo exposto.....	80
Figura 29	- Identificação de rio	81
Figura 30	- Identificação de construções.....	82
Figura 31	- Uso do solo na área de estudo.....	83
Figura 32	- Parte do MDT gerado a partir da restituição fotogramétrica.....	84
Figura 33	- Parte do MDT gerado a partir dos pontos Laser Scanner.....	85
Figura 34	- Parte do MDT gerado a partir dos pontos Laser Scanner com adição de breaklines provenientes da restituição fotogramétrica.....	86
Tabela 4	- Quantidade média de pontos Laser Scanner MDT/m ²	86
Tabela 5	Comparação de medidas altimétricas provenientes dos pontos Laser Scanner e curvas de nível da restituição fotogramétrica.....	87
Figura 35	- Visualização 3D do MDT da fig. 34.....	88
Figura 36	- Visualização 3D (combinação do MDE e mosaico de ortofotos).....	90
Figura 37	- Parte do MDT gerado a partir dos pontos Laser Scanner com adição de breaklines e dados do projeto geométrico da rodovia SC-414.....	91
Figura 38	- Visualização 3D da figura 37 permitindo uma melhor visão da situação de cortes e aterros necessários à implantação da rodovia SC-414.....	91
Figura 39	- Parte do MDE gerado a partir dos pontos Laser Scanner com simulação da rodovia projetada.....	92
Figura 40	- Visualização 3D do MDE da figura 39 permitindo uma visão geral da rodovia que atravessará a área de estudo.....	92
Figura 41	- Visualização 3D da combinação do mosaico de ortofotos com o MDE obtido a partir dos pontos Laser Scanner e projeto geométrico da rodovia.....	93
Tabela 6	- Quantificação da área de acordo com as classes de declividade.....	94
Figura 42	- Carta de declividade criada a partir dos pontos Laser Scanner.....	95
Figura 43	Carta de declividade definindo áreas de acordo com o limite máximo para - urbanização sem restrições de acordo com a lei 6766/79.....	96
Tabela 7	- Quantificação das áreas na faixa de domínio aptas e não aptas para urbanização sem restrições de acordo com a lei 6766/79.....	98

Tabela 8	- Quantificação da cobertura vegetal no interior da faixa de domínio da rodovia na área de estudo.....	98
Figura 44	- Foto de dezembro de 2003 de curso d'água a ser atravessado pela rodovia SC-414.....	99
Figura 45	- Visualização 3D obtida da integração dos pontos Laser Scanner MDE e mosaico de ortofotos.	100
Figura 46	- Cruzamento do projeto geométrico da rodovia SC-414 com o MDT e recursos hídricos.....	101
Tabela 9	- Quantificação da propriedade por classe de declividade.....	102
Figura 47	- Visão vertical, uso do solo e carta de declividade da propriedade rural.....	103
Tabela 10	- Quantificação da propriedade quanto à aptidão para urbanização.....	104
Tabela 11	- Quantificação da cobertura vegetal na propriedade rural analisada.....	104

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
APP	Área de Preservação Permanente
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
<i>breakline</i>	Linha de quebra, contendo as principais feições do terreno
CAD	Computer Aided Design
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTM	Cadastro Técnico Multifinalitário
CW	Continuous Wave – onda contínua
DEINFRA	Departamento Estadual de Infraestrutura - Santa Catarina
DER/SC	Departamento Estadual de Estradas de Rodagem de Santa Catarina
DGPS	GPS Diferencial
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DTM	Digital Terrain Model
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
GPS	Global Positioning System
GRID	Grade Regular
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFOV	Campo instantâneo de visada
IMU	Inertial Measurement System
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JPEG	Joint Photographic Experts Group
LACTEC	Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiance
LIDAR	Light Detection and Ranging
MDT	Modelo Digital do Terreno
MDE	Modelo Digital de Elevação
NASA	National Aeronautic and Space Administration
NEPA	National Environmental Protection Act
OEA	Organização dos Estados Americanos
ONU	Organização das Nações Unidas
POS	Position and Orientation System
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SAD	South American Datum
SLAR	Sistema de Radar Aerotransportável
SIG	Sistema de Informações Geográficas
TIFF	Tagged Image File Format
TIM	Time Interval Meter
TIN	Triangulated Irregular Network – Rede Triangular Irregular
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UTM	Universal Transverso de Mercator
WGS84	World Geodetic System 1984

RESUMO

As rodovias constituem uma categoria de empreendimentos de grande porte que alteram profundamente o desenvolvimento e o ordenamento territorial, interferindo na qualidade no meio ambiente tanto na sua fase de construção quanto durante o período de operação. O conhecimento rigoroso das condições ambientais da área onde a rodovia será implantada é fator determinante na qualidade do projeto rodoviário tanto do ponto de vista técnico como ambiental. Ao longo das últimas décadas, técnicas fotogramétricas se consolidaram em estudos para implantação de rodovias. O desenvolvimento tecnológico possibilitou o surgimento de sensores complementares às câmeras fotogramétricas como o sensor Laser Scanner, que possibilita a geração de Modelos Digitais do Terreno (MDT) e Modelos Digitais de Elevação (MDE) de uma área de forma relativamente rápida e com precisão altimétrica na casa dos decímetros. Nesta pesquisa fez-se um estudo em um trecho da rodovia SC-414 com o objetivo de estudar aplicações para produtos fotogramétricos, do sensor Laser Scanner e integração de ambos em projetos rodoviários. Utilizou-se para isso mapeamentos realizados para os estudos de anteprojeto do projeto final de construção da rodovia. Inicialmente buscou-se informações e treinamento com os detentores da tecnologia Laser Scanner no país. A próxima etapa consistiu no tratamento da nuvem de pontos laser utilizando programas CAD e programas específicos para o manuseio dos dados laser. Os dados tratados foram integrados com os produtos fotogramétricos, gerando-se mapas de uso do solo, MDTs, MDEs e cartas de declividade. Estes produtos foram sobrepostos entre si e ao cadastro técnico e projeto geométrico da rodovia, tornando possível a realização de análise temática da faixa de domínio. Realizou-se também uma análise de propriedades rurais na área diretamente afetada pela implantação da rodovia. Observou-se que sensor Laser Scanner é capaz de gerar informações temáticas de grande escala relevantes para projetos de implantação de rodovias. A integração de produtos fotogramétricos digitais forneceu informações que não seriam obtidas somente com os produtos do sensor Laser Scanner. A utilização conjunta dos produtos gerados com o cadastro técnico e o projeto geométrico da rodovia constituiu-se em excelente ferramenta para análises temáticas da área onde a rodovia será implantada.

Palavras-chave: Laser Scanner, Sensoriamento Remoto, Projeto Rodoviário, Meio Ambiente.

ABSTRACT

The highways constitute an enterprise category of great load that alter the territorial development and arrangement deeply, interfering in the environmental quality as much in your construction phase as during operation period. The rigorous knowledge of environmental conditions of area where the highway will be implanted is a decisive factor in highway project quality as much of technical view point as environmental. Along the last decades, photogrammetric techniques consolidated in highways implantation studies. The technological development made possible the appearance of complementary sensor to the photogrammetric cameras as the Laser Scanner sensor. This sensor makes possible the generation of Digital Terrain Models (DTM) and Digital Elevation Models (DEM) of an area of relatively fast form and with altimetric accuracy of decimeters. In this research was made a study in a space of SC-414 highway with the objective of studying applications for photogrammetric products, of the Laser Scanner sensor and integration of both in highway projects. For this, was used the surveying realized for studies of the highway final project of construction. Initially it was looked for information and training with Laser Scanner technology owners in the country. The next stage consisted of Laser Scanner point cloud treatment, using for that programs CAD and specific programs for work of data laser. The treated data were integrated with the photogrammetric products, being generated land use map, DTMs, DEMs and slope maps. These products were put upon to each other and to technical cadastre and highway geometric project, turning possible realize thematic analysis in right of way. It was also realized rural properties analysis in directly affected area of highway implantation. It was observed that Laser Scanner sensor by itself is capable to generate important great scale thematic information for highway implantation. The integration of digital photogrammetric products provided information that would not be obtained with the Laser Scanner sensor only. The integrate use of products generated with the technical cadastre and the geometric project of the highway was constituted in excellent tool for thematic analyses of area where the highway will be implanted.

Key-Words: LIDAR, Remote Sensing, Highway Engineering, Environment.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

As rodovias se constituem numa categoria de empreendimentos de grande porte que alteram profundamente o desenvolvimento e o ordenamento territorial, os processos ambientais, as propriedades ou as características físicas, químicas e biológicas de seu meio e/ou interferem em usos preexistentes de um determinado ambiente. Quando passa a existir, seja pela própria obra de engenharia ou pela modificação da acessibilidade a determinada área, a rodovia é responsável por inúmeras modificações no ambiente em que será implantada. Cabe ainda mencionar que o não conhecimento do ambiente onde a obra será implantada também pode causar impactos sobre a rodovia, como deslizamentos de terra e problemas de drenagem.

Antigamente, durante a seleção de traçados, somente os aspectos geométricos e geotécnicos eram considerados, com base no mínimo custo para a construção e no relativo retorno financeiro dos investimentos. Isto causou problemas de ordem técnica que, somados ao descontrole do uso e a ocupação do solo, resultou em severas conseqüências ao meio ambiente.

Na década de 1950, a sociedade começou a viver o conflito entre a necessidade de utilização de recursos naturais e a necessidade de manter um nível aceitável de qualidade ambiental. Em 1970, nos países desenvolvidos, passou a fazer parte dos processos de planejamento rodoviário, a preocupação com o meio ambiente e o bem estar da população. Em 1980, por decisão da Organização das Nações Unidas (ONU), o Banco Mundial passou a exigir a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) em seus programas de desenvolvimento e meio ambiente e, em 1982, publicou critérios específicos para a AIA. Assim, a preocupação ambiental no Brasil surgiu principalmente como uma simples necessidade de inserir o manejo ambiental nos projetos viários com o objetivo de conseguir fundos de investimento por parte dos organismos mundiais. Essa situação vem sendo modificada ao longo dos anos, com os temas ligados ao meio ambiente cada vez mais discutidos e estudados.

Sendo a implantação de uma rodovia uma ação potencialmente impactadora no meio ambiente, a decisão quanto à escolha de traçado deve ser considerada como a etapa mais crítica e delicada para a garantia de qualidade e adequada implantação de um empreendimento rodoviário. Uma vez definida a necessidade e a importância de uma nova rodovia, os estudos de alternativas de traçados devem ser menos dominados por fatores puramente econômicos, sendo conferido um peso maior aos fatores sócio-ambientais.

Apesar dos técnicos concordarem que a imposição de estudos ambientais e de segurança, exigidos pelas agências de financiamento (ONU, BID, Banco Mundial), aumentarem os custos iniciais, eles acreditam que o produto final torna-se muito melhor devido ao investimento inicial. Se esses estudos são realizados o mais breve possível, durante o planejamento de um novo empreendimento rodoviário, certamente haverá benefícios reais durante todo o restante do processo. Os problemas detectados pelos estudos ambientais podem geralmente ser corrigidos de maneira mais econômica nas etapas iniciais do que se forem encontrados mais adiante. Portanto, o grande valor dos estudos ambientais atualmente está no fato de ser o mais correto e econômico caminho para assegurar o bom desenvolvimento de um empreendimento rodoviário (McCORMACK, 2001).

Para garantir atendimento eficaz aos requisitos ambientais um empreendimento rodoviário deve ser gerido segundo um sistema estruturado que considere, integre e articule todos os elementos ambientais, em todas as atividades e operações técnicas. Desta forma, existe a necessidade do conhecimento físico do território, da propriedade e das questões sócio-econômicas, pois estes são fundamentais para realizarem-se os diversos estudos (topográfico, ambiental, hidrológico, projeto geométrico, de terraplenagem, drenagem e de pavimentação) de um projeto de implantação de uma rodovia. Além disso, a forma do terreno, seus limites, a posição em relação a um referencial, o acesso a uma estrada principal ou cidade, a posição da casa e benfeitorias do imóvel (terreno), o uso e aptidão do solo em cada propriedade são informações essenciais a serem buscadas quando da avaliação dos imóveis para os projetos de desapropriação (OEA, 1998). Uma questão importante a ser considerada é que a dimensão ambiental das estradas não se exaure com a construção, mas se

prolonga ao longo de toda a sua vida útil, incluindo operação, restaurações, duplicação etc.

Dentro deste contexto, percebe-se a importância do conhecimento detalhado da área onde poderá vir a ser implantada uma rodovia para que se possa alterar o mínimo possível o ambiente nesta área e que o ambiente não cause riscos a operacionalidade da rodovia. O Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM) aliado a modernas técnicas de Sensoriamento Remoto, propicia o conhecimento do local e traz subsídios para a realização do projeto facilitando o conhecimento do ambiente onde a rodovia será implantada, atendendo de maneira eficaz aos requisitos ambientais.

A utilização de fotografias aéreas em projetos de implantação de rodovias é uma prática bem aceita em engenharia rodoviária. As fotografias aéreas de grande escala são importantes tanto nas etapas preliminares quanto na fase final de um levantamento, pois elas fornecem uma visão da área mostrando as condições existentes em um momento particular. Podemos observar nelas os elementos da superfície e, com isso, estabelecer a relação entre geologia, fatores culturais e ambientais relevantes para a avaliação dos impactos de um projeto de engenharia no ambiente. As fotografias aéreas para este tipo de estudo são confiáveis, econômicas e conseqüentemente essenciais para a avaliação de muitos parâmetros ambientais inerentes à construção e uso da rodovia. (FERGUNSON, 1985). A partir da década de 1990 surgem as fotografias aéreas digitais (obtidas através de escanização de fotografias obtidas por métodos convencionais ou por câmeras fotogramétricas digitais) que apresentam vantagens como a possibilidade de serem visualizadas e processadas em computadores comuns e a possibilidade de sua imagem digital ser melhorada devido ao acesso ao seu conteúdo radiométrico.

Um produto importante para projetos de engenharia rodoviária que pode ser obtido a partir das fotografias aéreas é o Modelo Digital do Terreno (MDT). Ele foi inicialmente utilizado para a determinação de volumes de corte e aterro em trabalhos de terra, e atualmente é utilizado no projeto da rodovia propriamente dito. Além disso, as técnicas de modelagem do terreno podem também ser utilizadas para criar modelos de projeto digital da rodovia proposta. A possibilidade de combinar o projeto e modelos do terreno propicia ainda uma visualização mais realista do impacto que a implantação do projeto rodoviário causará no ambiente.

A evolução tecnológica ocorrida nas últimas décadas trouxe novos meios para levantar informações sobre o terreno, como o sensor Laser Scanner, também conhecido por LIDAR (Light Detection and Ranging). Com o advento desta tecnologia, tem-se uma alternativa para a aquisição do MDT. Os dados obtidos com o sensor possibilitam a geração de modelos digitais do terreno dentro de poucos dias, com precisão na casa dos decímetros, o que se traduz em vantagens para projetos de implantação de rodovias quando comparado aos métodos tradicionais de obtenção do MDT. O LIDAR também possibilita a construção de Modelos Digitais de Elevação (MDE).

Até o final de 2003 existiam aproximadamente 970 km² de áreas mapeadas com o LIDAR no Brasil para estudos e projetos rodoviários. Além disso, na comunidade cartográfica o LIDAR já pode ser considerado uma nova tecnologia experimentada e aprovada para a produção de mapas. Entretanto, sua aceitação parece persistir por alguns problemas, entre eles a desinformação, já que é ainda uma novidade para muitos contratantes de serviços no Brasil. Assim, um dos principais problemas é a falta de compreensão do uso, limitações e potencialidades da tecnologia por parte de clientes que muitas vezes são influenciados por conceitos emitidos por pessoas que desconhecem um equipamento Laser Scanner.

Mesmo sendo uma tecnologia que apresenta grandes possibilidades de utilização em mapeamentos para projetos rodoviários, inclusive levando-se em conta a questão ambiental, ainda é pequeno o número de pesquisas em nível nacional que permitam um maior conhecimento da tecnologia LIDAR e de suas possíveis aplicações. Desta forma, este estudo visa contribuir para o conhecimento da tecnologia, assim como para a avaliação da sua aplicabilidade, fazendo uso dos produtos provenientes do LIDAR, de mosaico de ortofotos e de ambos para a análise temática da faixa de domínio de um trecho da rodovia SC-414.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Integrar e analisar os produtos fotogramétricos e do sensor Laser Scanner visando sua utilização em projetos rodoviários.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Gerar um MDT a partir do arquivo de pontos Laser Scanner;
2. Contribuir com o desenvolvimento de procedimentos para o tratamento dos dados oriundos do sensor Laser Scanner;
3. Contribuir com o desenvolvimento de procedimentos para a integração de dados Laser Scanner e fotografias aéreas;
4. Contribuir com a análise da quantidade e qualidade de informação possível de ser extraída dos produtos gerados pela integração dos dados Laser Scanner e aerofotos;
5. Gerar mapas temáticos para projetos de implantação de rodovias.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos, sendo composta por: (1) Introdução, (2) Revisão Bibliográfica, (3) Área de Estudo, Materiais e Metodologia, (4) Análises dos Resultados e discussões, (5) Conclusões e Recomendações e Referências Bibliográficas.

O primeiro capítulo introduz à pesquisa, justificando-a e identificando os objetivos a serem alcançados para se fazer uma integração e análise dos produtos fotogramétricos e do sensor Laser Scanner em projetos de implantação de rodovias.

No segundo capítulo apresenta-se a revisão bibliográfica dos temas de interesse, sua conceituação, finalidades e importância para esta pesquisa, quais sejam: Projetos Rodoviários e Meio Ambiente, Cadastro Técnico Multifinalitário, Sensoriamento Remoto, Fotogrametria, Fotointerpretação, Modelo Digital do Terreno e sensor Laser Scanner.

Descreve-se no terceiro capítulo a área de estudo, os materiais e a metodologia utilizados no trabalho proposto. Deve-se salientar que o estudo foi realizado em uma área de tamanho reduzido e com determinados padrões de relevo e vegetação. Os resultados e conclusões devem ser analisados levando-se em conta esta limitação.

O quarto capítulo é formado pelas Análises dos Resultados discussões.

O quinto capítulo apresenta as conclusões do trabalho sobre os temas analisados, faz-se as recomendações para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A INSERÇÃO DA QUESTÃO AMBIENTAL EM PROJETOS DE INFRA-ESTRUTURA

Até a década de 1950 não existia uma preocupação mundial com a questão ambiental. A partir desta década, a sociedade começa a viver o conflito entre a necessidade de utilização de recursos naturais e, ao mesmo tempo, manter um nível aceitável de qualidade ambiental. Este conflito levou à necessidade de quantificar os impactos e os custos dos recursos em termos monetários através da análise de custo e benefício, instrumento precursor da Avaliação de Impacto Ambiental – AIA (CLÁUDIO, 2002).

Promulgado pelo congresso dos Estados Unidos em 1970, o NEPA – National Environmental Protection Act - foi o marco legal para o estabelecimento da Avaliação de Impacto. Segundo este “todas as Instituições Federais deverão... identificar e desenvolver métodos e procedimentos... para garantir que valores e impactos ambientais até o presente não quantificáveis, possam receber consideração adequada nas tomadas de decisão”. A avaliação de Impacto Ambiental vem a ser a ferramenta básica para avaliar propostas de projetos de desenvolvimento (MARQUES, 1998).

DIEFFY (1975) afirma que do ponto de vista analítico, o impacto ambiental pode significar a diferença entre as condições ambientais que existiam antes da implantação de um projeto proposto e as condições ambientais que existiriam com essa ação.

De acordo com DNER (1996), consideram-se como impactos as reações da natureza perante a introdução de elementos estranhos ao ecossistema considerado, resultando em modificações na estrutura do ambiente preexistente. Introduziu-se a qualificação “significativo” (Impactos Ambientais Significativos – IAS) para transparecer o juízo de valor em relação a outros impactos que poderiam ser denominados exclusivamente como “efeitos” (DNER, 1996).

Em 1972 estabeleceu-se na Conferência de Estocolmo as diretrizes básicas do licenciamento ambiental. A partir de 1975 os agentes financeiros internacionais

passaram a exigir a realização de AIA para o financiamento de seus projetos de desenvolvimento.

Em 1980, por decisão da Organização das Nações Unidas – ONU, o Banco mundial passou a exigir a Avaliação de Impacto Ambiental em seus programas de desenvolvimento e meio ambiente e em 1982 publicou critérios específicos para AIA. Paralelamente, a AIA foi sendo incorporada aos procedimentos de licenciamento e planejamento de países como: Argentina, Brasil, Bangladesh, Fiji, Índia, Indonésia, Korea, Malásia, México, Filipinas e Tailândia. (MARQUES, 1998)

No Brasil, a lei federal 6938 de 1981 estabeleceu a política nacional do meio ambiente, regulamentando o licenciamento ambiental. Em seu artigo 10 estabelece que: "a construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, considerados efetiva ou potencialmente poluidores, bem como os capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento por órgão estadual competente, integrante do SISNAMA, sem prejuízo de outras licenças exigíveis".

Em 1986, como primeiro passo a um processo de aprimoramento e regulamentação do licenciamento ambiental, a Resolução 001 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA definiu as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da AIA, trazendo ainda uma lista exemplificativa das atividades "modificadoras do meio ambiente" cujo licenciamento deveria ser precedido da elaboração e aprovação de um Estudo de Impacto Ambiental – EIA e Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. O EIA não é o único estudo ambiental considerado no processo de licenciamento, mas se constitui em importante componente das decisões referentes à implementação de projetos, devendo ser apresentado na fase de planejamento, pesquisa e levantamentos da atividade, com o objetivo de verificar a viabilidade ambiental para a localização do empreendimento (JESUS, 2000).

Buscando aperfeiçoar o Sistema de Licenciamento Ambiental, o CONAMA aprovou a Resolução nº 237 de 22 de dezembro de 1997. Esta Resolução tem como objetivo básico a regulamentação das competências do licenciamento ambiental, o estabelecimento de procedimentos nas suas fases, de prazos de análise e manifestação do licenciador e o prazo de validade para cada licença (JESUS, 2000).

2.2 PROJETOS RODOVIÁRIOS E MEIO AMBIENTE

As rodovias constituem uma categoria de empreendimentos de grande porte que alteram profundamente o desenvolvimento e o ordenamento territorial. Elas afetam o meio não apenas em sua faixa de domínio, mas em toda sua área de influência, à medida que melhoram a acessibilidade aos recursos naturais existentes (redução de custo de transporte, segurança na recepção e na remessa de cargas, etc.). Elas alteram os processos ambientais, as propriedades ou as características físicas, químicas e biológicas de seu meio, ou interferem em usos preexistentes de um determinado ambiente. Isto ocorre não só na fase de construção da rodovia, mas também durante o período de operação.

As estradas devem funcionar como elemento indutor de crescimento de uma região se, evidentemente, estiverem inseridas dentro de um programa de desenvolvimento integrado e multidisciplinar. Não havendo a compatibilização do ambiente com o pretense desenvolvimento, certamente ocorre a degradação dos recursos naturais e com reflexos diretos na conjuntura social e econômica da região (JUCHEM, 1992).

Até a década de 1950, não havia no Brasil uma preocupação com a preservação ambiental por parte dos profissionais envolvidos nos projetos rodoviários:

A construção (da rodovia) deverá ocupar uma área de terra, em geral, coberta de vegetação. Entre os empecilhos por vencer, está, pois, despir o terreno das vegetações que o revestem, não só para a locomoção desembaraçada, como para o início dos movimentos de terra e da execução das obras... Após derrubadas, as vegetações devem ser retiradas para os lados e, empilhadas as boas madeiras para aproveitamento, as demais, voltadas ao abandono, serão afastadas da zona axial da estrada, o que, muitas vezes, é beneficiado pela queima, depois de devidamente amontoadas e encoivaradas (MONTEIRO FILHO, 1941).

Em 1980, por decisão da Organização das Nações Unidas – ONU, o Banco mundial passou exigir a Avaliação de Impacto Ambiental em seus programas de desenvolvimento e meio ambiente e em 1982 publicou critérios específicos para Avaliação de Impactos Ambientais - AIA. Assim, a preocupação ambiental no Brasil surgiu principalmente como uma simples necessidade de inserir o manejo ambiental

nos projetos viários, para conseguir fundos de investimento por parte dos organismos mundiais.

A Portaria Intersectorial nº 01/92, aprova a listagem de atividades consideradas potencialmente causadoras de degradação ambiental, no item 33.12.00 aparece "construções viárias" com potencial geral de degradação grande.

No desenvolvimento de um projeto rodoviário consideram-se três tipos de projeto (DER/SC, 1998): Projeto de Implantação; Projeto de Melhoramento; Projeto de Restauração.

Um projeto é chamado de Implantação quando existe interesse de ligação entre dois pontos com ou sem uma estrada pioneira, a qual não necessariamente constitui a solução mais adequada, portanto, o corredor da futura rodovia ainda não está definido. Isto é, não existe, ou é desprezível, a conexão sobre a qual passa o tráfego. E, portanto, há liberdade para definição do traçado da rodovia, respeitando-se os pontos obrigatórios de passagens e evitando-se aqueles diagnosticados como impróprios durante o desenvolvimento do projeto.

Um projeto de melhoramento é caracterizado pela existência de uma rodovia implantada tecnicamente adequada, sobre a qual passa um tráfego regular que necessita ser adaptada às novas condições, por ser insuficiente em relação ao tráfego e/ou haver terminado a vida útil do pavimento. Neste caso, há apenas pequenas alterações geométricas em planta e perfil, implantação de terceiras faixas, etc., sem mudança fundamental do corredor.

Um projeto de Restauração é caracterizado pela necessidade de renovação do pavimento devido ao término da sua vida útil, sem alterar a categoria da rodovia. O revestimento e eventualmente a estrutura do pavimento são restaurados ou reforçados parcial ou totalmente, adaptando-se simultaneamente ao tráfego atual e futuro. O eixo e o greide permanecem inalterados.

No projeto de implantação de uma nova rodovia, os estudos de traçado compreendem o exame geográfico, geopolítico, geoeconômico e geoambiental da região, através da qual se deverá desenvolver a futura rodovia, tendo por objetivo a pesquisa da diretriz mais conveniente e, ainda, descobrir os pontos obrigatórios de passagem da estrada a projetar (DER/PR e UFPR/FUPEF, 2000).

Os estudos de traçado, não se limitam a aspectos geométricos e de relevo. No lançamento de alternativas devem ainda ser considerados uma série de outros fatores como a presença de áreas de várzeas ou banhados com solos moles, a travessia de núcleos urbanos, a disponibilidade de materiais de construção, etc. o lançamento do traçado é uma poderosa ferramenta de que dispõe a equipe de projeto para minimizar impactos ambientais negativos (DER/PR e UFPR/FUPEF, 2000).

Para garantir atendimento eficaz aos requisitos ambientais, um empreendimento rodoviário deve ser gerido segundo um sistema estruturado que considere, integre e articule todos os elementos ambientais, em todas as atividades e operações técnicas.

O impacto de acontecimentos naturais sobre uma rodovia pode advir de um lado, da falta de atenção para com os processos naturais da área em estudo (geológicos, hidrológicos e atmosféricos) assim como também devido à ausência de avaliação dos perigos naturais e avaliação da vulnerabilidade na região geográfica que atravessa o corredor viário. Por outro lado, pode ser resultado da falta de um planejamento adequado na construção e na conservação da infra-estrutura viária. Estes elementos devem ser incluídos no planejamento de um corredor viário para reduzir os impactos potenciais do ambiente, tanto quanto reduzem os custos da conservação e a ocorrência e/ou gravidade de desastres naturais ao longo da estrada (OEA, 1998).

Na fase de planejamento os estudos ambientais têm por finalidade básica contribuir para o processo de seleção, mediante o diagnóstico da situação ambiental atual, na região abrangida pelo plano, identificando áreas críticas, e o prognóstico de evolução da situação ambiental atual, considerando as alternativas de implantação do plano, inclusive a de nada fazer. Também faz parte do escopo prever medidas mitigadoras e compensatórias e os custos dos programas ambientais, por alternativa.

O Estudo de Impacto Ambiental (EIA) é um estudo rigoroso que implica no registro completo de condições existentes, identificação de impactos e exame de alternativas para o projeto de estradas (OEA, 1998).

Deve-se alertar que os impactos ambientais podem até se constituir na variável básica do processo de seleção, levando à proposição de alternativas que não teriam sido cogitadas, e escolhas que não teriam ocorrido, sem a inclusão da variável ambiental (DER/PR e UFPR/FUPEF, 2000).

A informação de base sobre as condições e tendências ambientais, econômicas e sociais na área do projeto, é necessária para que o seu impacto possa ser comparado com a alternativa de não realizar o projeto. Antes de reunir qualquer informação da área do corredor viário, deve ser demarcada a zona de influência (OEA, 1998).

A questão dos limites da área geográfica até onde as degradações ambientais podem e devem ser imputadas à obra rodoviária é de difícil delimitação como a maioria das áreas de influência envolvidas em questões ambientais (JUCHEM, 1992).

Para a caracterização do empreendimento rodoviário, deverá ser incluído um mapa com escala situada entre 1:10.000 e 1:50.000, incluindo toda a extensão da obra e tendo como largura pelo menos 500 m. De modo geral, são considerados dados essenciais para a caracterização de um empreendimento rodoviário (JUCHEM, 1992):

- a) as localidades atendidas e/ou atravessadas pela obra;
- b) as interferências com a obra;
- c) os cursos d'água atravessados;
- d) as larguras da pista e da faixa de domínio;
- e) a secção transversal tipo;
- f) as obras de arte necessárias: seus tipos, extensões e concepções;
- g) as eventuais obras especiais como túneis;
- i) as estruturas de drenagem superficial e profunda;
- j) as características das obras de arte correntes;
- k) as inclinações e alturas máximas de cortes e aterros;
- l) as soluções propostas para travessias de zonas alagadiças e/ou de solos hidromórficos, bem como de áreas instáveis em geral e de fragilidade ambiental: obras de estabilização e/ou contenção e/ou mitigadoras;
- m) os tratamentos previstos para recuperação de áreas terraplenadas;
- n) a caracterização e a localização das jazidas, pedreiras e empréstimos concentrados de maior porte, utilizados: previsão de exploração e volumes envolvidos;

De acordo com LOPES E QUEIROZ (1994), a dimensão ambiental das estradas não se exaure com a construção, mas se prolonga ao longo de toda a sua vida útil,

incluindo operação, restaurações, duplicação etc. É certo, entretanto que, quanto mais harmonioso o entrosamento entre uma e outro, tanto maiores os benefícios de ambos. “Uma rodovia só é eficiente, econômica e socialmente, se estiver perfeitamente enquadrada no meio ambiente por ela ocupado”.

2.3 UTILIZAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO EM PROJETOS DE RODOVIAS

DA DÉCADA DE 1920 ATÉ 1950

A primeira manifestação de interesse do Governo Federal com relação às modernas estradas, próprias ao tráfego de automóveis, foi a lei nº 1453, de dezembro de 1905, que autorizava uma subvenção financeira da União aos Estados, para que estes promovessem “a construção de estradas de rodagem que liguem entre si as capitais de quaisquer estados” (TELLES, 1993).

Os estudos para a construção de novas rodovias consistiam em uma verdadeira aventura, com o engenheiro responsável pelo projeto tendo de percorrer a pé ou a cavalo a área onde a rodovia seria locada, o que poderia levar, dependendo da extensão da rodovia, mais de um ano. Um relato de como eram realizados os trabalhos de campo no estudo de reconhecimento de locais para rodovias é encontrado em MONTEIRO FILHO (1933). Muitas estradas eram construídas sem qualquer estudo prévio ou projeto.

A partir das décadas de 1920 e 1930, começam a surgir processos “modernos” aplicáveis aos estudos de reconhecimentos e também, em alguns casos, de exploração de caminhos para as rodovias: a fotografia e a aviação. Estes auxiliavam principalmente no estudo físico da área.

Uma técnica utilizada para o estudo de reconhecimento nesta época (década de 1920) era a fotogrametria terrestre, onde as fotografias eram tiradas de locais com vista panorâmica da área a ser atravessada pela estrada. Também eram utilizadas fotografias tiradas pelo engenheiro a bordo de um avião. Essas novas técnicas poderiam ser utilizadas principalmente no estudo físico da área. A operação sobre o terreno seria, no entanto, necessária para a obtenção de indicações complementares, e das demais informações concernentes à geologia, à população, perspectivas gerais,

etc. As fotografias que serviriam de base ao anteprojeto eram tiradas de grandes alturas, de três a cinco mil metros (escalas de 1:30.000 a 1:50.000).

O resultado fornecido por uma só hora de vôo poderia ser muito mais amplo e prover mais informações do que o de mais de um ano de serviço, feito pelos levantamentos terrestres habituais (MONTEIRO FILHO, 1933).

Um dos primeiros projetos de rodovias no Brasil a utilizar fotografias aéreas foi realizado pela Inspetoria de Obras Contra as Secas na década de 1920, onde foi feito um vôo de reconhecimento, para a escolha dos pontos de passagem, seguido de outro vôo onde foram medidos distâncias e rumos para o prosseguimento das operações sobre o solo (TELLES, 1993).

Outros locais onde foram utilizados levantamentos fotogramétricos para estudos de traçado (nas décadas de 1920 e 1930) foram a estrada de ferro Brasil-Bolívia (vôo 1:20.000 e composição de mosaico); a nova ligação entre São Paulo e Curitiba (planta feita na escala 1:10.000, curvas de nível espaçadas de 10 metros e área de 300 km²); projeto da rodovia Vitória a Belo Horizonte (que já se havia estudado por outros métodos e que obteve, com o estudo fotogramétrico, encurtamento de alguns quilômetros e melhoria nas condições técnicas da rodovia).

DA DÉCADA DE 1950 ATÉ 1970

A partir de 1950, vários estudos para projetos de novas rodovias com a utilização de levantamentos aerofotogramétricos estavam sendo contratados pelo DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem) principalmente nos estados do Paraná, de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul. A técnica já era bem aceita entre os profissionais de engenharia.

Registram-se nesta época nos Estados Unidos avançadas aplicações para numerosas finalidades. A crescente aplicação das fotografias aérea em estradas estava sendo cada vez mais aperfeiçoada, abrangendo todas as fases do preparo do empreendimento rodoviário, desde a visualização inicial da área até às últimas determinações, para a marcação da via sobre o solo. Interpretações, antevisão de obras e detalhes eram deduzidos dos vôos e das aerofotos. Neste período surgia nos EUA o ortofotoscópio.

MONTEIRO FILHO (1953) cita que “a aviação abriu grandes possibilidades para os estudos de projetos e dos traçados de rodovias, seja por simples vôos de observação sobre as áreas questão, dando a percepção da orografia e das situações, seja pelo exame acurado de fotografias tomadas do alto para a apreciação estereoscópica, para julgamento usando aparelhos modernos ou para desenho de plantas, com curvas de nível, etc”. A análise no escritório, das zonas retratadas permite pesar e confrontar soluções e alternativas, para a seleção da trajetória preferível”. Vôos de observação, realizados à uma altura de 300 a 1000 metros em relação ao solo, tornavam-se indispensáveis para o início dos estudos de projetos rodoviários. Também havia a possibilidade do estudo planimétrico e do relevo de um determinado local utilizando-se aerofotos.

O emprego em projetos rodoviários de fotografias tiradas de avião, na década de 1950, tinha como objetivo:

- a) simples organização de fotografias sucessivas e seu exame em conjunto;
- b) apreciação estereoscópica das vistas para se perceber o relevo e a série de características influentes nas deliberações;
- c) trabalhos mais apurados, de aproximações consecutivas, na escolha das faixas e das linhas preferíveis;
- d) segundo moderna prática norte-americana, uma seqüência de estudos, partindo de extensas áreas, entre os pontos a ligar, até chegar ao desenho de cartas e plantas, de maior escala, com curvas de nível, etc;
- e) especificação pormenorizada, decorrente do projeto definitivo, para se assinalar, no terreno, o eixo da estrada, a localização das obras, os acessórios, etc.

Os mosaicos e os fotoplanos (mosaicos controlados) constituíam meios de estudos para o reconhecimento de estradas, embora não apresentassem confiabilidade quanto à exatidão.

Entre os aparelhos utilizados para trabalho no escritório nas décadas de 1950 e 1960, havia o estereoscópio, estereômetro, estereocomparador, esteroplanígrafo, autógrafo, estereocartógrafo, fotocartógrafo, multiplex e marcador de contornos.

O aparelho multiplex permitia a apreciação das formas orográficas em figuras luminosas, facilitando a descoberta de trajetos, passagens, aclives viáveis, etc. E permitia a aerotriangulação no espaço, entre pontos afastados. O estereoscópio oferecia ao operador o destaque e o decalque das superfícies.

Fotografias utilizadas nesta época eram predominantemente preto-e-branco e muito freqüentemente com escalas entre 1:20.000 e 1:50.000.

A fotografia aérea é citada por MONTEIRO FILHO (1961) como “uma solução mais racional, eficiente e econômica, em levantamentos de grandes regiões, onde aparecem trechos difíceis”. Nessa época (décadas de 1950-60) já eram utilizadas as informações obtidas das fotografias aéreas com relação às constituições geológicas, a resistência dos solos, a erosão, vegetações, facilidade de drenagem, etc. Era organizado no escritório mosaico para apreciações das zonas aonde viria a ser implantada a rodovia, procedendo-se ao estudo dos itinerários, com o estereoscópio. Anotava-se, sobre as fotografias e esboços da região, uma série de pontos prováveis de passagem para a futura diretriz levando em conta alturas, rampas permissíveis, influências mais importantes, etc. O profissional partia para o campo munido de um mosaico do trecho, as fotografias em seqüência e um estereoscópio. Eram exigidos do responsável pelo projeto conhecimentos e habilidade para as interpretações quanto à formação e consistência dos solos, o comportamento quanto à ação das águas, a estabilidade para as construções, etc.

Segundo MONTEIRO FILHO (1961), as vantagens gerais da utilização da fotogrametria para projetos rodoviários eram:

- a) maior rapidez nas operações;
- b) maior abundância de informações;
- c) melhores condições para a realização do estudo, no conforto do escritório;
- d) possibilidade de observações estereoscópicas;
- e) coleta de preciosas informações suplementares, sobre os solos, condições de drenagem, bases para obras, recursos de construção, etc.
- f) exame de locais à revelia dos moradores ou proprietários;
- g) obtenção de um arquivo valioso, sobre ampla faixa dos arredores do local onde a rodovia seria implantada;

- h) possibilidade de se reconsiderar ou refazer o estudo, a qualquer momento e sob quaisquer novas prescrições ou finalidades;
- i) acesso às diversas áreas, até as mais inacessíveis.

DA DÉCADA DE 1970 ATÉ 1980

As fotografias aéreas estavam sendo cada vez mais utilizadas em engenharia rodoviária e, ao menos nos Estados Unidos e Canadá, já não eram utilizadas apenas para estudos preliminares e locação de rodovias. MINTZER (1983) descreve os principais usos em engenharia rodoviária que se dava aos produtos de sensoriamento remoto na década de 1970:

- 1) Planejamento de rodovias, incluindo pesquisa de condições e inventário, e levantamento de tráfego;
- 2) Levantamento de locais para rodovias, incluindo avaliação de corredor e análises ambientais;
- 3) Levantamentos para construção;
- 4) Levantamentos para manutenção;
- 5) Aplicações especiais como em litígios e reivindicações.

Grande quantidade de dados necessários para levantamento das condições e inventário de rodovias começava a ser obtido por técnicas de sensoriamento remoto aéreo, enquanto outros dados mais detalhados eram mais bem determinados por métodos de campo. Estes eram realizados a fim de compilar estatísticas sobre: a) comprimento de vários tipos de rodovias; b) tipo e número de estruturas; c) tipos de superfície da estrada; d) informação do uso do solo em torno da rodovia; e e) outros dados. Para adquirir dados e analisar condições pertinentes ao planejamento de rodovias e para a subsequente pesquisa de local para implantação da rodovia eram utilizadas fotografias aéreas de média e grande escala. Estas estavam também se mostrando muito úteis para identificação dos diversos dados de uma rodovia a serem inventariados, como tipo e condições de estradas existentes, uso do solo das propriedades nos arredores da estrada, condições de drenagem e tipos e número de estruturas. As técnicas de sensoriamento remoto poderiam cobrir grandes áreas, identificando pequenas características.

A disponibilidade de imagens de satélite (como aquelas do Landsat MSS) e fotografias de grande altitude provia uma excelente base para fazer a avaliação regional de possíveis rotas. Tais imagens podiam também ser usadas para desenvolver mapas base para apresentação de possíveis alternativas.

Técnicas computacionais começavam a ter maior utilização em alguns levantamentos para quantificar e avaliar a influência relativa de vários fatores na seleção de rotas, e para gerar vistas perspectivas da rodovia proposta a fim de avaliar as qualidades estéticas e de segurança do alinhamento da estrada do ponto de vista do usuário. Tais técnicas computacionais também estavam sendo usadas para determinar quantidades de movimento de terra por métodos fotogramétricos no projeto de estrada, comparando custos de alinhamentos alternativos e para determinação final de quantidade de pagamentos durante a construção da estrada.

De acordo com MINTZER (1983), análises de dados coletados indicavam que as técnicas de sensoriamento remoto eram altamente confiáveis, econômicas, e conseqüentemente essenciais, na avaliação de muitos parâmetros ambientais pertinentes a construção e uso de rodovias. Ele cita três casos de análise ambiental de corredores onde foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto feitas nos anos de 1972, 1974 e 1979 nos Estados Unidos e no Canadá. Fotografias aéreas convencionais eram a maior fonte de dados para estes estudos, propiciando uma rápida e econômica análise do ambiente. As fotografias coloridas na escala 1:5.000 apresentavam a vantagem de mostrar vasta quantidade de detalhes, fotografias coloridas na escala 1:10.000 e preto-e-branco 1:25.000 estavam sendo utilizadas para detectar e analisar parâmetros como forma das propriedades. As fotografias infravermelho coloridas na escala 1:5.000 captavam o stress vegetativo que seria estudado em detalhe.

As imagens de sensoriamento remoto, segundo o mesmo autor, começavam a auxiliar organizações rodoviárias na sua interação com o público quando da realização de audiências públicas. Alguns métodos especiais usando técnicas de sensoriamento remoto estavam sendo utilizados para descrever áreas sensíveis, para avaliação do impacto de ruído e características de erosão do solo, e para detalhamento de características de terreno (solos, geologia, topografia, drenagem) e características culturais (arqueologia, utilidades, uso do solo).

A ortofotocarta (que começou a ser utilizada no Brasil na década de 1970) era aplicada em projeto de traçados, interseções, duplicações e manutenção de rodovias. Além disso, são aplicadas em campos ligados ao projeto rodoviário, como projetos de desapropriação, reassentamento, projetos de monitoramento ambiental e para o cadastro de áreas rurais e urbanas.

DA DÉCADA DE 1980 ATÉ ATUALMENTE

A partir dos anos 1980 houve um aumento na utilização de filmes coloridos para investigações detalhadas em estudos de implantação de rodovias. As fotografias coloridas apresentavam como vantagem em relação às fotografias preto-e-branco a possibilidade de obter informações adicionais através da interpretação das fotografias, já que o olho humano é capaz de reconhecer pelo menos cem vezes mais cores do que valores na escala de cinza.

Algumas das vantagens da utilização de fotografias aéreas para estudos de implantação de rodovias citadas por O'FLAHERTY (2000) são:

- 1) A possibilidade de examinar grandes áreas de terra assegura que será menor a probabilidade de serem negligenciados os melhores locais para a rodovia;
- 2) Um inventário completo de todas as características da superfície terrestre em um determinado local e em um determinado momento pode ser disponibilizado;
- 3) Perfis e cortes da seção da estrada podem ser desenvolvidos sem invadir propriedades privadas. Assim, proprietários não sofrem transtorno e a avaliação da terra não é afetada durante a investigação de locação da estrada.

Em meados de 1990, inicia a era digital da fotogrametria (FRYER, 1996). Fotografias aéreas digitais (feitas através de escanerização de fotografias obtidas por métodos convencionais ou por câmeras fotogramétricas digitais) apresentam a vantagem de poderem ser visualizadas e processadas em computadores comuns; existe a possibilidade de melhorar a imagem digital devido ao acesso ao seu conteúdo radiométrico e podem ser aplicados processos de automação. Desvantagens das fotografias digitais incluem exigência de sistemas computacionais de alta qualidade e capacidade de processamento e armazenamento de dados e qualidade de imagem inferior à de um sistema convencional (DOWMAN, 1996).

Com o surgimento da fotogrametria digital, a necessidade sobre as informações não mudou, o que mudou e continua mudando é o emprego dos métodos de processamento de imagem.

Segundo O'FLAHERTY (2000), a utilização de fotografias aéreas em projetos de implantação de rodovias tornou-se uma prática bem aceita em engenharia rodoviária atualmente, sendo as fotografias aéreas de grande escala muito importantes tanto nas etapas preliminares quanto na fase final de um levantamento para implantação de rodovia.

Como alternativa ou complemento à utilização de fotografias aéreas convencionais, surgiram nas últimas décadas sensores remotos que podem prover uma grande quantidade de informações úteis quando do estudo de implantação de uma rodovia.

As imagens de satélites tiveram grande aumento na resolução espacial nas últimas décadas, o que possibilitou o aumento de sua utilização em projetos de implantação de rodovias. Em 1982, começou a operar o satélite Landsat 4, com resolução geométrica 30 metros no modo multispectral e em 1986 o satélite Spot, com resolução geométrica de 20 metros no modo multispectral e 10 metros no modo pancromático. CAETANO (2002), utilizou imagens ETM+/Landsat-7 e HRVIR/Spot-4 para mapeamento de fraturamento (trações de juntas e lineamentos estruturais) e do uso e ocupação da terra visando subsidiar a fase de planejamento de construção de uma rodovia. Com o advento de satélites que geram imagens com resolução espacial de até 70 cm, devem ser realizados estudos visando a utilização dessas imagens nos projetos rodoviários.

Sistemas aerotransportáveis de imageamento multispectral, que têm a capacidade de obter dados em uma faixa mais ampla do espectro eletromagnético do que a fotografia convencional, podem ser utilizados principalmente para distinguir terrenos instáveis e áreas onde pode ocorrer movimentos de terra.

Sistemas de imageamento por infravermelho, que provêm imagens que mostram o padrão de temperatura da superfície terrestre, detectam características geológicas e condições do subsolo por meio de diferenças sutis na temperatura da superfície terrestre, o que influencia na localização e no projeto de implantação de uma rodovia. Pode-se definir através dos dados obtidos com este sensor a localização de

declives saturados com água, solos orgânicos, falha em estruturas, cavidades sobre o chão, atividades vulcânicas e hidrotermais, elementos de infra-estrutura e canais enterrados, sistemas de drenagem subsuperficial.

O Sistema de Radar Aerotransportável (SLAR) tem sido utilizado com sucesso para mapear características culturais, para diferenciar alguns tipos de rocha e materiais da superfície, e para delinear velhos canais e áreas que aprestam alto teor de umidade. Em áreas com florestas, a irradiação emitida pelo SLAR penetra parcialmente a cobertura de árvores e detecta detalhes topográficos.

O sistema Laser Scanner Aerotransportável ou LIDAR está sendo utilizado para criar MDEs (Modelo Digital de Elevação) e MDTs (Modelo Digital do Terreno) com alta densidade de pontos na superfície. Esta tecnologia pode ser empregada com sucesso no mapeamento de faixas lineares da superfície tais como faixa de domínio de estradas. O avião pode voar ao longo do eixo da rodovia, resultando somente no mapeamento das áreas de interesse e provendo um mapa digital do terreno com alta resolução espacial, capturando informações sobre pavimento, sistema de drenagem e vegetação (GUTELIUS, 1998).

Com a possibilidade de utilização de diversos sensores, deve-se sempre procurar obter o produto de sensoriamento remoto mais adequado às necessidades do estudo a ser realizado.

2.4 CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO

“Não se sabe bem ao certo a origem da palavra – cadastro. Uns dizem ter vindo do grego *katastizô* (distinguir por pontos). Outros, acham que veio do baixo latim *capistratum* (de *capitias*), capacidade, ou então de *caput* (*capitilia*) - cabeça. Na Idade Média chamavam-se *capitistra* os registros públicos que reuniam as declarações dos prouvéres, da qual se transformou, por corrupção, em *catastra*, que se conservou nas línguas neolatinas quase que com a mesma forma (*catastro* em italiano; *cadastre*, em francês; e o *cadastro* em nosso idioma)” (SILVA, 1982).

O cadastro clássico é definido fundamentalmente como um inventário organizado que permite agregar conhecimentos físicos, jurídicos e econômicos da menor unidade territorial, a parcela (SHENONE, 1997), devendo ser feito sob a forma

geométrica e descritiva (BLACHUT, 1974). Diz ainda, que um dado ou informação sobre um ponto contém pouco significado, se não for posicionado espacialmente na superfície terrestre global da área de interesse da pesquisa, seja um município, estado ou país.

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.

De acordo com LOCH (1994), o Cadastro Técnico Multifinalitário deve ser entendido como um sistema de registros de dados que identificam e caracterizam uma área de interesse. O registro de dados deve ser feito sob forma descritiva e padronizada, apoiada numa base cartográfica.

LOCH (1989) afirma que o CTM é muito importante para o controle do meio ambiente e que, por estar fundamentado em diversas técnicas, deve ter o respaldo da legislação do uso e ocupação do solo para a sua concretização.

BLACHUT (1974) afirma que em uma sociedade organizada a existência do CTM é indispensável, pois tanto o Estado como a sociedade dependem dele. O Estado porque deve possuir um registro dos proprietários ou usuários do solo com a finalidade de gerenciar o seu país e os seus recursos, e a sociedade, representada pelos proprietários e usuários do solo, porque visa uma definição clara dos limites de sua propriedade e proteção efetiva de seus direitos.

Para análise ambiental de local para rodovias, a aplicação do CTM é de grande importância. Ele permite agregar, tanto em nível local quanto regional, as mais variadas informações referentes ao meio ambiente. Pode-se concluir com isso, que o Cadastro Técnico é uma base indispensável para o inventário complexo e integrado do espaço e, conseqüentemente, essencial para o planejamento e base para projetos de implantação de rodovias.

2.5 FOTOGRAMETRIA

Fotogrametria é a ciência e tecnologia de obter informações confiáveis através de processos de registro, interpretação e mensuração de imagens (ANDRADE, 1998). A fotogrametria pode ser definida como a ciência, arte e tecnologia para a determinação de informações precisas de objetos e o meio ambiente, a partir do registro, mensuração e interpretação de imagens fotográficas (ASPRS, 1980; FRYER, 1996; LOCH & LAPOLLI, 1994).

De acordo com ALMEIDA (1992), a fotogrametria constitui-se em um método de levantamento “indireto não agressivo”, que permite medir tanto a geometria como produzir uma representação precisa do objeto fotografado estereoscopicamente. As fotografias obtidas com câmaras montadas em aeronaves ou espaçonaves enquadram-se na categoria da Fotogrametria Aérea, conhecida como Aerofotogrametria. Quando o eixo ótico da câmara é vertical, a fotografia resultante é denominada Fotografia Vertical (ANDRADE, 1998).

As fotografias aéreas podem ser consideradas como os produtos do sensoriamento Remoto mais conhecido para trabalhos de mapeamento. Estas fotografias são geradas basicamente a partir de câmaras fotogramétricas acopladas em aeronaves.

De acordo com LOCH (1989) são elementos facilmente identificados em fotografias aéreas os limites das propriedades rurais, através de diferenças de cultura de um proprietário para outro, cercas divisórias, diferenças de estruturas das propriedades, diferença de direção nas filas de uma cultura, terreno mecanizado ou não, terrenos recuperados ou não, diferenças de drenagem nas propriedades, diferenças de capricho.

O desenvolvimento da fotogrametria ocorreu por volta de 1850, seguiu quatro ciclos de desenvolvimento (KONECKY, 1985 in CAMPBELL, 1996). Cada um desses períodos teve uma duração média de 50 anos. Estes ciclos incluem:

Período básico de planejamento para concepção da idéia sobre a ciência fotogrametria, de 1850 a 1900;

- I. Fotogrametria analógica, período compreendido entre 1900 e 1960;
- II. Fotogrametria Analítica, iniciou em 1960 e permanece até a época atual, e

III. Fotogrametria digital, a qual iniciou justamente para subsidiar as necessidades da indústria fotogramétrica.

A era digital da fotogrametria inicia, de acordo com FRYER (1996), em meados de 1990, começando a substituir aos poucos o período da fotogrametria analítica.

Os produtos fotogramétricos digitais podem ser obtidos de duas maneiras:

- ✓ pelo processo onde as fotografias reveladas em filme são primeiro “*scannerizadas*” para se tornar digital (método híbrido);
- ✓ obtidas diretamente através de câmaras digitais.

Atualmente, como fonte primária utiliza-se fotografias em filme digitalizadas em escaner (MELLO & FERRARI, 1999).

Segundo DOWMAN (1996), algumas vantagens do uso de imagens digitais são:

- 1) as imagens podem ser visualizadas e processadas em computadores comuns; não existe a necessidade ótica/mecânica;
- 2) os sistemas de medição são estáveis e não necessitam de calibração;
- 3) a imagem pode ser melhorada (por exemplo: contraste e brilho);
- 4) a automação pode ser aplicada;
- 5) operações podem ser realizadas em tempo real ou próxima do tempo real.

De acordo com o mesmo autor, a Fotogrametria Digital apresenta algumas desvantagens:

- 1) custo de um sistema completo relativamente alto, devido ao preço do scanner (o rendimento da produção compensa este fator de desvantagem inicial);
- 2) exigência de sistemas computacionais de alta qualidade e capacidade de armazenamento de dados;
- 3) em alguns casos, ocorrência de resistência por parte dos operadores mais conservadores;
- 4) necessidade de conhecimento de informática para operar o sistema;
- 5) qualidade de imagem inferior à de um sistema convencional;
- 6) automação ainda limitada.

2.6 ORTOFOTO DIGITAL

A ortofoto digital é uma imagem digital em projeção cartográfica. De acordo com ANDRADE (1998), para confeccionar uma ortofoto digital a partir de uma imagem fotográfica aérea digital, um novo arranjo dos pixels deve ser realizado para atender tal transformação. Tal tarefa exige o conhecimento da posição e atitude da aerofoto, bem como do modelo do terreno, no sistema cartográfico requerido. A posição e atitude da câmera fotogramétrica no instante da tomada da aerofoto podem ser determinadas por uma aerotriangulação analítica ou, quando se tratar de uma única aerofoto, por ressecção espacial; o modelo do terreno pode ser conseguido por coordenadas de uma rede de pontos e por um programa de computador capaz de interpolar altitudes.

As ortofotos digitais constituem-se num produto completamente diferente das ortofotos analógicas. Enquanto as ortofotos analógicas são imagens fotográficas gravadas em material fotográfico, as ortofotos digitais podem ser gravadas nos diversos meios utilizados em computação eletrônica e são passíveis de processamento em computador e, ainda, podem ser impressas em variados tipos de impressoras e de papel. São, portanto, imagens que podem ser trabalhadas com os inúmeros recursos já disponíveis e aqueles que ainda virão, na área de processamento de imagens digitais. Ortofotos digitais, com curvas de nível, servem como base para os estudos de projetos de engenharia como o projeto de estradas. As ortofotos permitem que as melhores soluções sejam rapidamente ensaiadas, oferecendo ao engenheiro projetista informações visuais completas e, por isso, permitindo soluções otimizadas (ANDRADE, 1998).

BLACHUT (1974) cita que a ortofoto permite um rápido, completo e preciso mapeamento do terreno com um mínimo de filme aéreo retificado. A maioria das informações pode ser lida do ortofotomapa e a informação que deve ser simbolizada é não somente uma característica extremamente importante em trabalhos cadastrais, mas também no mapeamento de todos os tipos de dados ambientais.

A ortofotografia teve origem em 1903 com a tentativa de produção por parte do oficial austríaco Scheimpflug, usando o princípio da retificação diferencial, pela variação da distância de projeção. Isto se tornou realidade em 1933, com o

desenvolvimento do aparelho de Gallus-Ferber, mas por motivos antieconômicos esse aparelho não foi fabricado em série.

No Brasil, a técnica de ortofotografia data de 1970, com a aquisição de um ortoprojetor Gigas-ZEISS GZ-1 da Zeiss Oberkochen, da Alemanha Ocidental, pelos Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul S.A. O desenvolvimento tecnológico aperfeiçoou rapidamente os equipamentos de ortoprojeção, introduzindo no mercado aparelhos eletrônicos digitais como o WILD OR-1 e o equipamento analítico ZEISS ORTHOCOMP (LOCH, R. 1987).

2.7 FOTOINTERPRETAÇÃO

Uma definição básica de fotointerpretação aparece no *Manual of Photographic Interpretation* da Sociedade Americana de Fotogrametria: “Fotointerpretação é o ato de examinar imagens fotográficas com o fim de identificar objetos e determinar seus significados” (ANDERSON, 1982; LOCH, 1989).

O processo de fotointerpretação consiste em observar os caracteres da foto-imagem para evidenciar os “objetos visíveis diretamente”, analisá-los e, pela convergência de um conjunto de informações, concluir sobre a realidade de uma “ocorrência invisível”. Os caracteres da imagem são o tamanho, formato, tonalidade, textura, estrutura, etc. e os objetos visíveis são de natureza física (rios, estradas, edifícios, rochas, solos). Os elementos invisíveis, que devem ser interpretados, são de origem física, econômica, social e podem estar localizados sobre a superfície do terreno, no sub-solo ou o ar.

ANDERSON (1982) cita que as fotografias aéreas convencionais são apenas um dos vários tipos de produtos do sensoriamento remoto, que também inclui imagens de radar, imagens tomadas de satélite, imagens termal e infravermelho. Ainda hoje, boa parte dos trabalhos de fotointerpretação é feita com técnicas simples, que existem há anos e estão bem desenvolvidas. Este conjunto de técnicas é o que normalmente entende-se por fotointerpretação: o exame de fotografias tiradas por aviões (geralmente fotografias verticais, ou seja, de eixos principais perpendiculares ao terreno).

A visibilidade de qualquer objeto na foto-imagem nunca é de cem por cento. Nenhum objeto pode ainda ser totalmente investigado olhando-se somente o seu exterior. A investigação de campo é imprescindível para uma fotointerpretação com boa qualidade.

Em estudos e projetos de engenharia rodoviária, a fotointerpretação normalmente é aplicada para caracterização de:

1. uso do solo;
2. relevo;
3. rede de drenagem;
4. geologia;
5. distâncias.

Na fotointerpretação temática, a imagem aérea é utilizada para um objetivo definido, em que se faz uso de técnicas de fotointerpretação para analisar um tema específico (por exemplo, uso do solo). Os dados obtidos são representados em um mapa temático.

2.8 MODELAGEM DO TERRENO

O assunto modelagem do terreno vem crescendo continuamente nos últimos vinte e cinco anos, devido ao explosivo desenvolvimento em tecnologia de computadores e na difusão do uso dos computadores pessoais. O avanço na aplicação de modelagem de terreno tem sido quase tão espetacular quanto o avanço da computação gráfica e das tecnologias de imageamento, e paralelo ao desenvolvimento de softwares usados para apresentação e visualização de modelos do terreno. Ao mesmo tempo, existe um vasto aumento na velocidade com que os dados sobre a superfície de terreno podem ser adquiridos, devido ao desenvolvimento de teodolitos eletrônicos e equipamentos de medida de distância para levantamento de campo, instrumentação fotogramétrica analítica e automática para levantamentos aéreos, métodos baseados em tecnologia digital de extração de informação de mapas existentes e mais recentemente a tecnologia LIDAR.

2.8.1 DEFINIÇÃO DE MODELO DIGITAL DO TERRENO E MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

O termo geral usado para descrever o processo de representação de uma superfície física ou artificialmente criada por meio de uma expressão matemática é modelagem de superfície. O termo modelagem de terreno refere-se a uma categoria particular de modelagem de superfície que lida com o problema específico de representação da superfície da terra.

O conceito de criação de Modelos Digitais do Terreno é relativamente recente. Segundo PETRIE & KENNIE (1990), a introdução do termo Modelo Digital do Terreno (MDT) é geralmente atribuído a dois engenheiros americanos que trabalhavam no Instituto de Tecnologia de Massachusetts durante os anos 1950. A definição dada por eles (Miller e La Flamme, 1958) foi a seguinte: “O Modelo Digital do Terreno (MDT) é simplesmente uma representação estatística contínua da superfície terrestre por um grande número de pontos selecionados onde são conhecidas as coordenadas x, y, z em um campo de coordenadas arbitrárias”. Desde então, vários outros termos – Modelo Digital de Elevação (MDE), Digital Height Model (DHM) e Digital Ground Model (DGM) – foram criados para descrever este e outros processos intimamente relacionados. Embora na prática estes termos sejam freqüentemente presumidos como sinônimos, na realidade eles freqüentemente se referem a produtos bastante distintos.

De acordo com PETRIE & KENNIE (1990), Modelo Digital do Terreno é o mais complexo e abrangente conceito envolvendo não somente alturas e elevações, mas outros elementos geográficos e características naturais como rios, linhas de cume, etc. Além disso, diferentemente da definição prévia, esta representação pode também incluir dados derivados sobre o terreno como declividade.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) contém informações de altura e elevação de todos os objetos presentes sobre a superfície terrestre (vegetação, construções, linhas de transmissão de energia, etc).

2.8.2 ESTRUTURA GEOMÉTRICA

De acordo com PETRIE & KENNIE (1990), existem duas aproximações principais utilizadas em programas escritos e desenvolvidos para aplicações em mapeamentos e engenharia civil:

- a) Têm como base ou fazem uso de dados de altura que são coletados ou organizados em forma de uma grade regular (retangular ou quadrangular);
- b) Têm como base uma rede triangular de tamanho, formato e orientação irregular, e usam dados de altura locados aleatoriamente.

a) *Grade regular*: é um modelo digital que aproxima superfícies através de um poliedro de faces retangulares ou quadrangulares. Os vértices desses poliedros podem ser os próprios pontos amostrados, caso estes tenham sido adquiridos nas mesmas posições x,y que definem a grade desejada. A geração de grade regular ou retangular deve ser efetuada quando os dados amostrados na superfície não são obtidos com espaçamento regular. Assim, a partir das informações contidas nas isolinhas ou nos pontos amostrados, gera-se uma grade que representa de maneira mais fiel possível à superfície. Os valores iniciais a serem determinados são os espaçamentos nas direções x e y de forma que possam representar os valores próximos aos pontos da grade em áreas com grande variação e que, ao mesmo tempo, reduzam redundâncias em áreas quase planas (INPE, 2003).

b) *Grades irregulares triangulares*: Consistem de um conjunto de triângulos vizinhos obtidos da triangulação de Delaunay com os vértices do triângulo sendo geralmente os pontos amostrados da superfície. Alturas entre os vértices podem ser interpoladas permitindo assim a definição de uma superfície contínua. O resultado é chamado Triangulated Irregular Networking (TIN) e pode ter uma densidade variável. Os TINs podem acomodar tanto dados irregularmente distribuídos como conjunto de dados selecionados, tornando possível representar uma superfície complexa e irregular com uma pequena quantidade de dados. Assim, o número de redundâncias é bastante reduzido comparado a grade retangular, uma vez que a malha é mais fina em regiões de grandes variações e mais espaçada em regiões quase planas. As descontinuidades

da superfície podem ser modeladas através de linhas e pontos característicos (PETRIE & KENNIE, 1999; LU, 2001; INPE, 2003).

A grade triangular irregular tem a vantagem de utilizar os próprios pontos amostrados para modelar a superfície, sem a necessidade de qualquer tipo de interpolação sobre os mesmos. A desvantagem da grade irregular é que os procedimentos para obtenção de dados derivados de grades triangulares tendem a ser mais complexos e conseqüentemente mais demorados que os da grade retangular.

Os métodos para a geração de grade triangular podem ser divididos em método sem as linhas de quebra e método com as linhas de quebra (INPE, 2003).

O método sem linhas de quebra realiza a triangulação sem considerar as linhas de quebra, resultando em um modelo de terreno suavizado também ao longo das linhas de quebra.

Durante a geração de grades triangulares com as linhas de quebra, estas linhas de quebra (que modelam as informações morfológicas de descontinuidade), são incorporadas à triangulação, constituindo arestas de triângulos. O modelo final terá estas informações adicionais de linha de quebra incorporadas, possibilitando uma representação mais fiel do terreno, uma vez que não suaviza a superfície ao longo de feições como vales e cristas.

2.8.3 MODELAGEM DO TERRENO EM PROJETOS DE ENGENHARIA CIVIL

As técnicas de modelagem de terreno têm sido amplamente aplicadas em ciências físicas e da terra, onde se aplicam a problemas em diversos campos, dentre eles o mapeamento topográfico e na Engenharia Civil.

No mapeamento topográfico, representações digitais do terreno freqüentemente são um dos elementos do processo de mapeamento. A modelagem topográfica de escala grande é de particular importância, pois forma a base para a modelagem de projetos de engenharia civil (PETRIE & KENNIE, 1990).

Em projetos de engenharia rodoviária, inicialmente os modelos do terreno foram usados quase que exclusivamente para a determinação de volumes de corte e aterro em trabalhos de terra para projetos de engenharia rodoviária. Além disso, as técnicas de modelagem podem também ser usadas para criar modelos de projeto digital de

estruturas propostas (como barragens). É possível combinar o projeto e o modelo do terreno para criar uma visualização do impacto de projetos de engenharia no ambiente em que serão inseridos (CAMPOS & SILVA, 1993; PETRIE & KENNIE, 1990; LU, 2001).

2.9 SENSOR LASER SCANNER AEROTRANSPORTÁVEL

Altimetria por LASER (LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiance), mais comumente referida no setor comercial como mapeamento LIDAR (Light Detection and Ranging), está se tornando uma ferramenta operacional comum nos campos do sensoriamento remoto, fotogrametria e mapeamento. A tecnologia LIDAR é capaz de gerar rapidamente denso e acurado modelo digital da topografia e estrutura vertical de uma superfície. Para muitas aplicações que necessitam de alta acurácia nos modelos de elevação, a tecnologia LIDAR oferece capacidades técnicas únicas, reduz custos de operações de campo, e reduz o tempo e esforço de pós-processamento se comparado aos métodos de levantamento tradicionais. O desenvolvimento comercial da tecnologia LIDAR tem crescido rapidamente desde 1995 (FLOOD, 2001).

Em muitos países, o LIDAR tem encontrado possibilidades de grande variedade de aplicações. Ele traz benefícios para fins de planejamento, projeto, inspeção e manutenção de trabalhos de infraestrutura. Pode ser utilizado no planejamento de corredores viários e simulações de impacto ambiental (LEMMENS & LOHANI, 2001).

Um excelente artigo sobre os princípios básicos do sistema LIDAR é apresentado por BALTSAVIAS (1999), enquanto ACKERMANN (1999) oferece uma boa revisão do estado atual e tendências futuras. Comparações entre Fotogrametria e técnicas LIDAR é feita por BALTSAVIAS (1999). WEHR E LOHR (1999) discutem a estrutura do sistema e especificações para aplicações típicas, enquanto o mapeamento de florestas é discutido por KRAUS (1998). Uma ampla revisão do desenvolvimento comercial é disponibilizada por FLOOD (1999).

2.9.1 FUNCIONAMENTO

Sensores Laser Scanner são sistemas ativos que utilizam um conjunto de escaneamento ótico-mecânico com um feixe LASER. Dois raios óticos – o emitido pelo sistema LIDAR e a porção recebida daquele transmitido – devem ser considerados. Todos os sistemas LIDAR medem de alguma forma a distância entre o sensor e o lugar iluminado no chão. Como ilustra a figura 1, um típico Laser Scanner pode ser subdividido nas seguintes unidades principais: unidade LASER, scanner ótico-mecânico, unidade de controle e processamento.

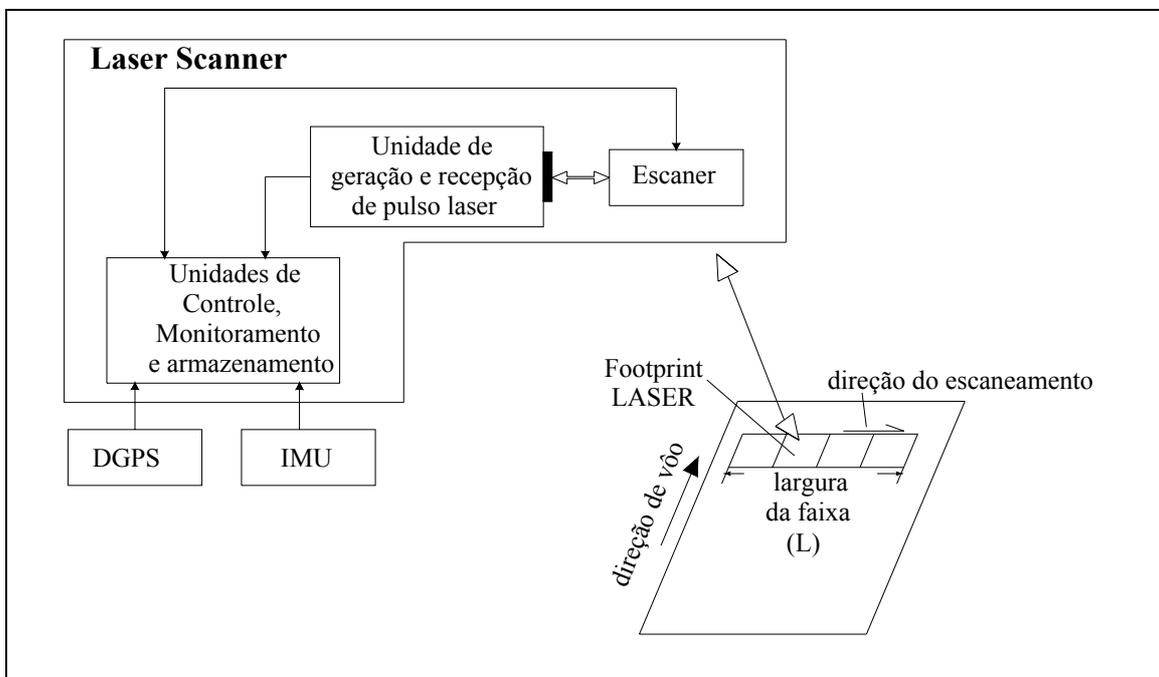


Figura 1 – Um típico sistema LIDAR (adaptado de Wehr e Lohr, 1999).

As aberturas de transmissão e recepção do LASER (tipicamente 8-15 cm de diâmetro) são montadas de forma que a transmissão e recepção compartilhem a mesma trajetória ótica. Isto assegura que pontos na superfície de objetos iluminados pelo LASER estejam sempre no campo de visada (FOV) do receptor ótico. A estreita divergência da irradiação LASER define o campo instantâneo de visada (IFOV). Tipicamente, a extensão do IFOV é de 0,3 a 2 mrad. O IFOV do receptor ótico não deve ser menor do que do raio LASER transmitido. A cobertura da área é obtida pelo movimento do raio ótico em direção perpendicular ao voo. A segunda dimensão é

percebida pelo movimento dianteiro do avião. Assim, o escaneamento LASER é capaz de amostrar a superfície de um objeto com uma alta densidade de pontos (WEHR & LOHR, 1999).

2.9.1.1 RADIAÇÃO LASER

O sistema LIDAR usa um feixe ótico de alta potência e bem direcionado, coerente no espaço e no tempo, para medir a distância entre o sensor e os objetos. O nível de coerência é muito dependente do LASER.

Os LASERs que continuamente emitem luz são chamados LASERs de onda contínua (CW – continuous wave). Nos sistemas LASER utilizados atualmente, são usados principalmente LASERs de pulso. LASERs de pulso normalmente são LASERs no estado sólido, que produzem saídas de alta potência. Há somente um sistema LIDAR de onda contínua empregado em um sensor Laser Scanner comercial, que foi desenvolvido e montado pelo instituto de navegação da Universidade de Stuttgart (WEHR & LOHR, 1999).

A reflexão dos pulsos LASER é detectada pela ótica do sistema e registrada pelo Time Interval Meter (TIM). O tempo (t_l) transcorrido entre a emissão e a recepção do pulso LASER é dado pela equação (1):

$$\boxed{t_l = 2 \frac{R}{C}} \quad (1)$$

onde R é a distância entre a unidade emissora-receptora e a superfície de reflexão e C é a velocidade da luz.

2.9.1.2 LASER

No sistema LIDAR normalmente são utilizados LASERs de diodo semicondutores e LASERs Nd:YAG, cobrindo a faixa ótica entre 800 nm e 1600 nm. Como atualmente os sensores Laser Scanner trabalham por princípio de detecção de energia direta, uma fonte de luz coerente para irradiação não é necessária. Portanto,

as seguintes propriedades físicas do LASER são usadas no escaneamento: alta potência, pulsos curtos ou a capacidade para modular a luz LASER com uma frequência no caso de sistemas de onda contínua e estreita faixa do espectro ótico em que o LASER é emitido. A linha espectral estreita do LASER é vantajosa, filtros de interferência ótica estreitos (usualmente com comprimento de faixa de 10 nm) podem ser montados no caminho do receptor para suprimir distúrbios na radiação refletida pelo chão, causada, por exemplo, por espalhamento da luz solar.

A seleção de comprimentos de onda ótica do LASER é dependente do projeto global do sistema Laser Scanner. A maior parte dos detectores sensíveis disponíveis tem comprimento de onda entre 800nm e 1000nm. O primeiro Laser Scanner trabalhava com um comprimento de onda de 900nm. Neste comprimento de onda, poderosos pulsos de diodo LASER semicondutores estão disponíveis no mercado e uma ótima performance do sistema pode ser esperada. Entretanto, neste comprimento de onda do espectro ótico, a segurança para os olhos ainda é uma preocupação. Se forem necessários pulsos LASER com alta energia, devem ser considerados comprimentos de onda a que os olhos são menos sensíveis (WEHR & LOHR, 1999).

Quando se discute o comprimento de onda LASER, deve-se também considerar as propriedades de reflexão do alvo, por exemplo, a superfície do objeto. A refletividade de um alvo, para um dado comprimento de onda, também influencia o alcance máximo. Assim, especificações de fabricantes, provedores do sistema, etc, para um alcance máximo devem sempre especificar para que tipo de reflexão de alvo (difusa ou “specular”) e percentagem de refletividade, sua declaração em máximo alcance é válido.

2.9.1.3 ESCANEAMENTO

A figura 1 ilustra os parâmetros chave para o escaneamento linear, isto é, o diâmetro do ponto LASER (A_L) e a largura de fileira (L). A figura 2 ilustra o ângulo de escaneamento θ .

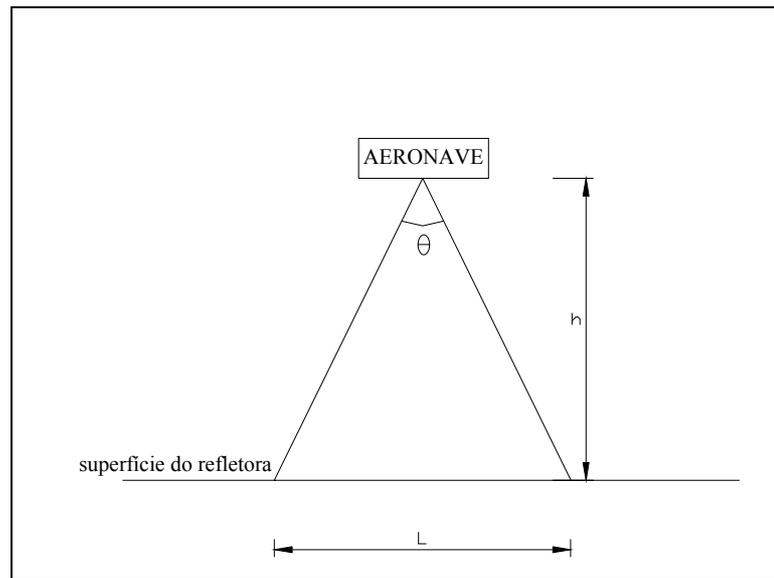


Figura 2 – Ângulo de escaneamento θ e largura da faixa de escaneamento (L).

Para uma dada altura de vôo h , o diâmetro do ponto LASER na superfície refletora depende da divergência da radiação LASER γ e da largura da fileira que é determinada através do ângulo de escaneamento θ (também chamado FOV). O diâmetro do ponto A_L e a largura da fileira L no chão são dados pelas equações (2) e (3), respectivamente:

$$A_{L_{inst}} = \frac{h}{\cos^2(\theta_{inst})} \gamma \quad (2)$$

$$L = 2h \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (3)$$

onde $A_{L_{inst}}$ é o diâmetro instantâneo do pulso LASER e θ_{inst} o ângulo de escaneamento instantâneo com $\theta \in \{0, \pm\theta/2\}$.

Um pulso LASER com média a alta divergência possui um ângulo γ da ordem de 1,0 mrad. Já um pulso LASER com baixa divergência possui um ângulo γ da ordem de

0,2 mrad. Os sistemas LASER atualmente comercializados possuem variação de divergência de 0,2 mrad a 5 mrad.

Além dos parâmetros A_L e L , a densidade de pontos LASER é de interesse para trabalhos de levantamento. A densidade de pontos é fortemente dependente do tipo de escaner usado e da velocidade do avião. Considerando, por exemplo, um escaneamento linear típico de um sistema de espelhos oscilatórios, o espaçamento de pontos através da direção de vôo E_1 depende principalmente ou da frequência de repetição de pulso (PRF), se um Laser Scanner de pulso é usado ou da taxa de medição, se um Laser Scanner de onda contínua (CW) é aplicado. Nos sistemas comerciais atuais, a frequência de repetição de pulso varia de 10 a 83 kHz.

Para o E_1 instantâneo pode escrever – equação (4):

$$E_1 = \frac{h}{\cos^2(\theta_{inst})} \frac{\theta_{inst}}{PRF} \quad (4)$$

com θ_{inst} a velocidade linear de escaneamento em rad/s. Ao longo da direção de vôo, o espaçamento de pontos E_2 é determinado - equação (5) - pela velocidade v do avião e pelo período t_{sc} da linha de escaneamento:

$$E_2 = vt_{sc} \quad (5)$$

O padrão de escaneamento na superfície terrestre depende do padrão do escaner LASER, da direção e velocidade de vôo e da topografia do terreno.

Os escaners podem ser uni ou bidirecionais. Mecanismos de escaneamento típicos que são usados para levantamento em aviões são mostrados na figura 3.

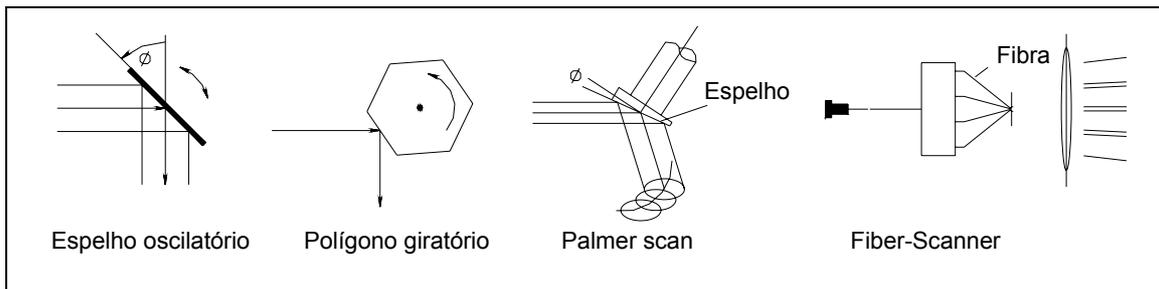


Figura 3 - Mecanismos de escaneamento típicos do sensor Laser Scanner (adaptado de Wehr e Lohr, 1999).

Espelhos giratórios, utilizados no sistema LIDAR da empresa Optech normalmente produzem uma linha em zig-zag (escaneamento bidirecional – figura 4), que é o padrão de escaneamento do levantamento realizado na área de estudo desta dissertação, escaneamento por polígonos rotatórios produzem linhas paralelas (escaneamento unidirecional), Palmer Scanner produz um padrão elíptico e o escaneamento por fibras (Fiber-Scanner) produz um escaneamento linear paralelo (figura 5).

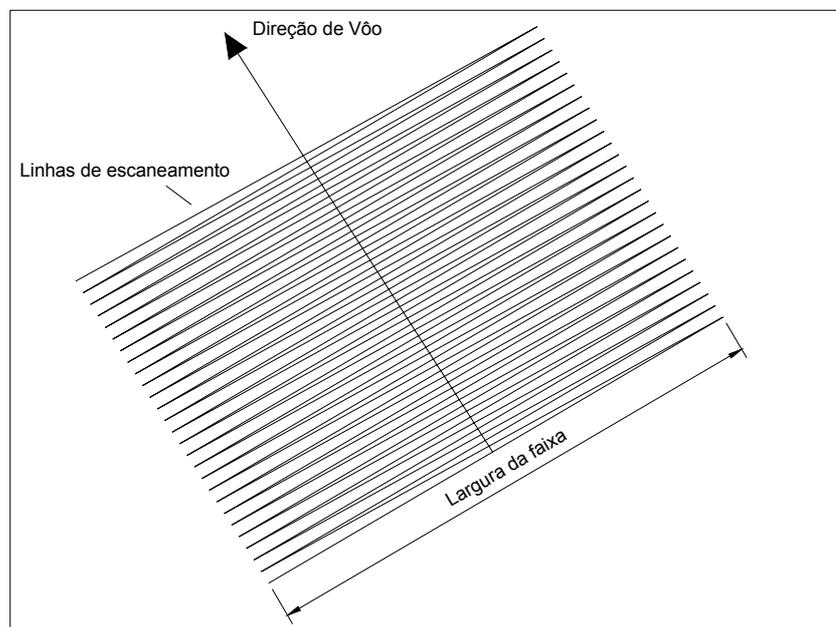


Figura 4 – Padrão de escaneamento de sistemas ALS que utilizam espelhos oscilantes (adaptado de Wehr e Lohr, 1999).

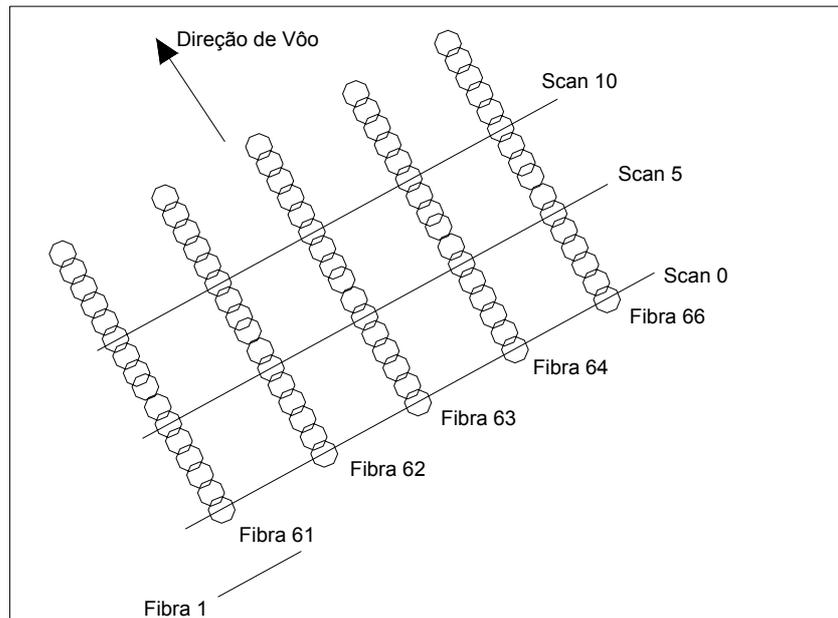


Figura 5 – Padrão de escaneamento de sistemas ALS que utilizam “Fiber Scanner” (adaptado de Wehr e Lohr, 1999).

Os pontos ao longo de uma linha são usualmente escaneados em passos de ângulos iguais, isto é, seu espaçamento no terreno não é constante. Devido à aceleração ou desaceleração dos mecanismos de escaneamento, os pontos das bordas das fileiras exibem outras características e algumas vezes são removidos do conjunto de dados brutos.

2.9.1.4 SISTEMAS DE POSIÇÃO E ORIENTAÇÃO

Segundo WEHR & LOHR (1999), o sensor Laser Scanner mede somente o vetor da linha local da abertura do Laser Scanner para um ponto na superfície terrestre. A posição 3D deste ponto somente pode ser computada, se em tempo real, a posição e orientação do sistema LASER é conhecida com relação ao sistema de coordenadas, por exemplo, WGS84. Assim, para obter medições acuradas em um dado sistema de coordenadas, um sistema Laser Scanner deve ser apoiado por um POS (Position and Orientation System). Como o Laser Scanner tem uma acurácia potencial melhor do que 1 dm, o POS deve permitir pelo menos a mesma acurácia. Tal acurácia pode ser

alcançada somente por um POS integrado, consistindo de um DGPS (GPS Diferencial) e um IMU (Inertial Measurement System).

Localizado no IMU, um receptor GPS registra a posição da aeronave a intervalos fixos. O DGPS (baseado no solo) provê a correção diferencial para uma determinação de posição mais precisa. O DGPS é um método de refinamento dos dados posicionais derivados do rastreamento GPS por meio da correção de erros inerentes ao processo.

A geocodificação das medidas Laser Scanner requerem um exato sincronismo de todo sistema: IMU, DGPS e Laser Scanner.

2.9.1.5 DETERMINAÇÃO DE PONTOS LASER

Depois do voo de levantamento, são disponibilizados basicamente dois conjuntos de dados: os dados POS e os dados LASER com ângulos instantâneos de escaneamento. Assumindo que a acurácia dos dados POS é melhor do que 1 dm em posição e $0,02^\circ$ em orientação, já podem ser calculados precisos pontos LASER medidos em um sistema de coordenadas. Entretanto, alguns parâmetros sistemáticos devem ser considerados. Estes são, os três ângulos de montagem do frame do Laser Scanner, descrito por ângulos de Euler *roll*, *pitch* e *yaw*, com relação ao sistema de coordenadas (usualmente com origem no IMU), a posição do Laser Scanner com relação ao IMU, e a posição do IMU com relação ao GPS. Estes dados da calibração podem ser derivados de levantamento Laser Scanner, onde certas áreas de referência são mapeadas em diferentes direções. Áreas de referência podem ser campos ou estádios esportivos, construções e cantos de construções. Os dados de calibração podem ser obtidos por meio da posição e orientação relativa dos diferentes levantamentos e sua orientação e posição absoluta em relação a um sistema de coordenadas.

De acordo com WEHR & LOHR (1999), os pontos LASER em WGS84 podem ser computados com a ajuda de três conjuntos de dados: dados de calibração e parâmetros de montagem, medidas de distâncias LASER com seus respectivos ângulos de escaneamento e dados POS.

O pós-processamento é realizado por um conjunto de programas e equipamentos necessários para processar os dados coletados durante o perfilamento a LASER.

Além dos dados do levantamento propriamente dito, no instante do processamento, são incorporados os dados de calibração do sistema e parâmetros como:

- ✓ Excentricidade da antena GPS em relação ao sensor LASER;
- ✓ Ângulos de montagem da plataforma do sensor LASER quando a aeronave está nivelada no solo;
- ✓ Posição do sensor LASER em relação ao SMI.

A figura 6 apresenta o fluxograma de processamento dos pontos provenientes do perfilamento Laser Scanner. Nas etapas de pós-processamento utilizam-se programas específicos que podem ser categorizados da seguinte forma (BRANDALIZE, 2001):

1. Extração dos Dados Brutos gravados durante o levantamento;
2. Separação dos Dados Brutos gravados durante o levantamento;
3. Separação dos Dados Brutos em dados GPS, Dados POS (inerciais) e Dados LASER;
4. Refinamento dos Dados separados;
5. Integração dos Dados separados com os Dados GPS das bases terrestres;
6. Processamento final com uso de polígono de corte;
7. Processamento específico para remoção de camada vegetal ou mapeamento de cabos.

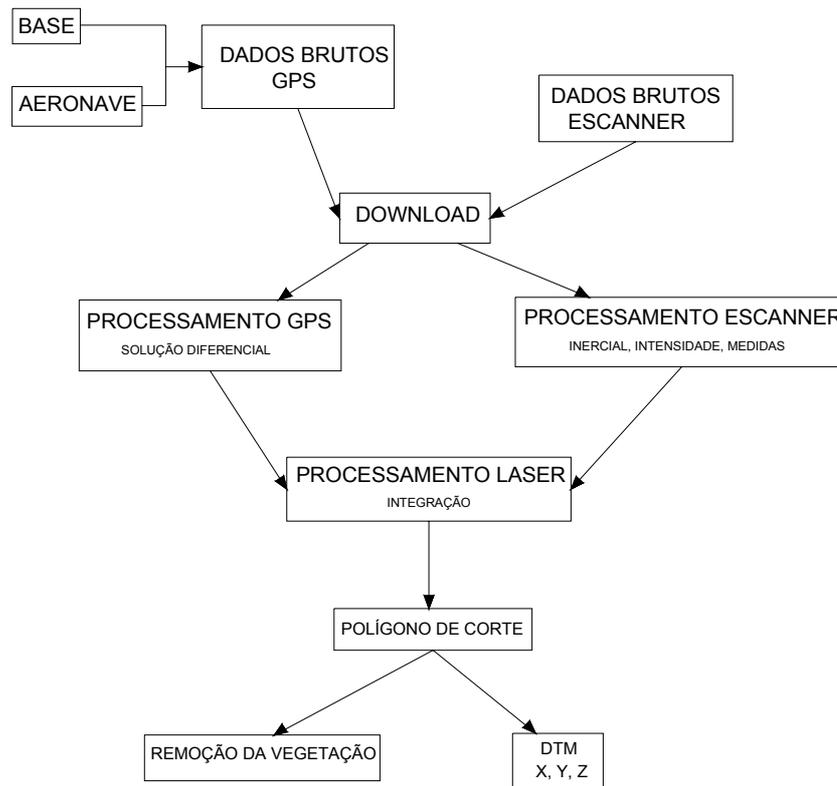


Figura 6 – Fluxograma de processamento dos Dados do sensor Laser Scanner (adaptado de BRANDALIZE, 2001).

Como a quantidade de dados gerados é muito alta para certas aplicações e programas comerciais para interpolação de MDT, visualização, etc., podem manipular um número limitado de pontos, aplica-se freqüentemente um desbaste nos dados. Isto é (ou pelo menos deveria ser) executado depois da filtragem e interpolação do MDT.

A visualização dos dados e a edição manual são necessárias em diferentes estágios da cadeia de processamento. Para WEHR & LOHR (1999), tornou-se óbvio que os maiores avanços durante os últimos anos têm sido alcançados por melhorias principalmente dos softwares de pós-processamento e menos do hardware do Laser Scanner. Isto significa que a qualidade dos MDTs, MDS e modelos de cidade é dependente, além da densidade de medidas e da acurácia do sistema Laser Scanner, também do software de pós-processamento.

2.9.1.6 REGISTRO DA INTENSIDADE DOS PULSOS LASER

Além de medir distâncias, alguns LASERs podem também gravar a intensidade da luz LASER (com medidas como a máxima intensidade do pulso de retorno). Isto pode ser alcançado tanto com LASERs por pulso quanto com LASERs por onda contínua, embora o uso e a dificuldade em sua implementação variem. A intensidade pode ser usada tanto para visualização da cena como para melhorar a filtragem/remoção e classificação/separação de objetos em combinação com a distância e outras informações, quando disponível.

2.9.1.7 PRIMEIRO E ÚLTIMO ECO DO PULSO LASER

Alguns LASERs podem gravar múltiplos ecos para cada pulso enviado, isto é, a distância (e possível intensidade) de vários objetos ao longo da trajetória do pulso e dentro do *footprint*. Tais sistemas normalmente gravam tanto o primeiro quanto o último eco de um pulso, embora exista um sistema comercial que pode gravar mais de quatro ecos por pulso. Existem ainda sistemas experimentais que gravam a forma inteira do sinal de retorno.

O registro de múltiplos ecos pode ser útil quando o perfil vertical de múltiplos objetos dentro do *footprint* LASER (ou pelo menos o objeto mais alto e o mais baixo), como no caso de árvores, é necessário.

2.9.2 HISTÓRICO

Airborne LASER Ranging (ALR) não é uma tecnologia nova. O que é novo é que estes sistemas estão se tornando disponível comercialmente, estando a ponto de se popularizar na produção de mapeamento.

O uso de LASERs como instrumento de sensoriamento remoto tem uma história que retrocede mais de 30 anos. TOWES e SCHAWLOW estabeleceram a teoria do LASER em 1958. MAIMAN demonstrou o primeiro LASER funcional – um LASER de rubi – em 1960 (FLOOD, 2001).

As aplicações experimentais iniciais do LIDAR datam dos anos 1970 e 1980, mas a tecnologia foi introduzida para a comunidade de mapeamento somente na última década. Recentemente, a maturidade da tecnologia e também o rápido desenvolvimento dos sistemas de orientação direta GPS/IMU apoiando o LIDAR tem aumentado o potencial econômico do sistema baseado em LASER. Três períodos principais podem ser identificados com respeito a aplicações. No começo, LIDAR foi quase que exclusivamente usado para explorações científicas, principalmente sob a supervisão da NASA. Com o aperfeiçoamento da tecnologia e queda nos preços, o LIDAR entrou no mercado comercial a aproximadamente uma década atrás. Novas companhias foram fundadas para oferecer serviços para aplicações especiais como levantamento de linhas de transmissão. Operando com helicópteros ou com aviões, estes sistemas LIDAR tinham capacidades limitadas – a baixa altura de vôo permitia somente mapeamento de corredores, embora a densidade da nuvem fosse bastante boa. Finalmente a terceira era de aplicações LIDAR chegou nos anos 1990 (TOTH & GREJNER-BRZEZINSKA, 2000).

Avanços adicionais na tecnologia assim como o fornecimento do LIDAR permitiram que as companhias de aerolevanteamento tradicional adquirissem o sistema e o integrasse então na produção de mapeamento.

2.9.3 APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA LIDAR EM ENGENHARIA RODOVIÁRIA

O uso primário de LIDAR foi focado no mapeamento de terreno de alta resolução (FLOOD & GUTELIUS, 1997; ACKERMANN, 1999). HILL et al (2000) listam um grande e crescente número de aplicações atuais desta tecnologia em áreas que abrangem desde análises urbanas até recursos naturais.

O LIDAR adapta-se bem para mapeamento de faixas lineares da superfície tais como faixa de domínio de estradas. O avião pode voar ao longo do eixo da rodovia, resultando no mapeamento somente de áreas de interesse e provendo um mapa digital do terreno com alta resolução espacial, capturando informações sobre pavimento, sistema de drenagem e vegetação (GUTELIUS, 1998). O sensor pode ser ajustado para obter um ponto de medida LASER a cada poucos metros ou vários pontos por metro quadrado, com um pulso de 10 a 15 cm de diâmetro, provendo informações

suficientes para criar um MDT adequado para muitas aplicações de engenharia, incluindo o traçado de sistemas de drenagem, o alinhamento de auto-estradas, a determinação de volumes de trabalho de terra, e o projeto de estruturas costeiras (GUTELIUS, 1998).

BERG & FERGUSON (2000) investigaram a potencialidade de utilização do LIDAR para levantamentos de rodovias e estudo de corredores para o Ministério de Transporte de Ontário em alternativa ao método tradicional de mapeamento fotogramétrico convencional. Como resultado da pesquisa, verificou-se que a acurácia com relação à medidas altimétricas do LIDAR foi de 15 centímetros ou mais em superfícies bem definidas como pavimentos, e foi variável em outras superfícies em torno de 0,5 metros. Vegetação baixa, rochas, e vales causaram problemas imprevistos com discrepâncias excedendo a 1 metro em alguns casos. A acurácia com relação à medidas altimétricas do MDT LIDAR em áreas com cobertura fechada foi de 0,3 a 1,0 metro.

CAPÍTULO 3 – ÁREA DE ESTUDO, MATERIAIS E MÉTODO DA PESQUISA

No decorrer deste capítulo será apresentada a área de estudo, o material utilizado no desenvolvimento do projeto, assim como a metodologia aplicada para o tratamento dos dados Laser Scanner, a confecção do Modelo Digital do Terreno (MDT), Modelo Digital de Elevação (MDE) e análise da área de estudo.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

a) Localização

A área de estudo localiza-se no estado de Santa Catarina, em uma área onde foram realizados estudos para a implantação de uma nova rodovia (SC-414). Existe atualmente o anteprojeto de engenharia rodoviária para Implantação e Pavimentação. A nova rodovia projetada terá aproximadamente 22 km de comprimento e unirá setores em crescente atividade econômica ao interligar as rodovias pavimentadas SC-413 ao norte e BR-470 ao sul da ligação prevista.

Os municípios na Área de Influência Direta desta obra rodoviária são Luís Alves-SC e Gaspar-SC (onde a rodovia passará pela localidade de Belchior).

O município de Luís Alves está localizado numa área territorial com latitude 26 graus e 43 minutos SUL e longitude 48 graus e 55 minutos W-GR, tem uma área de aproximadamente 260 Km².

O município de Gaspar está localizado numa área territorial com latitude 26 graus e 55 minutos SUL e longitude 48 graus 57 minutos W-GR, tem uma área de aproximadamente 369,80 Km² (IBGE, 2000).

A área de estudo está localizada no município de Luís Alves (figura 7 e 8) e compreende uma faixa de aproximadamente 1700 m de comprimento por 750 metros de largura.

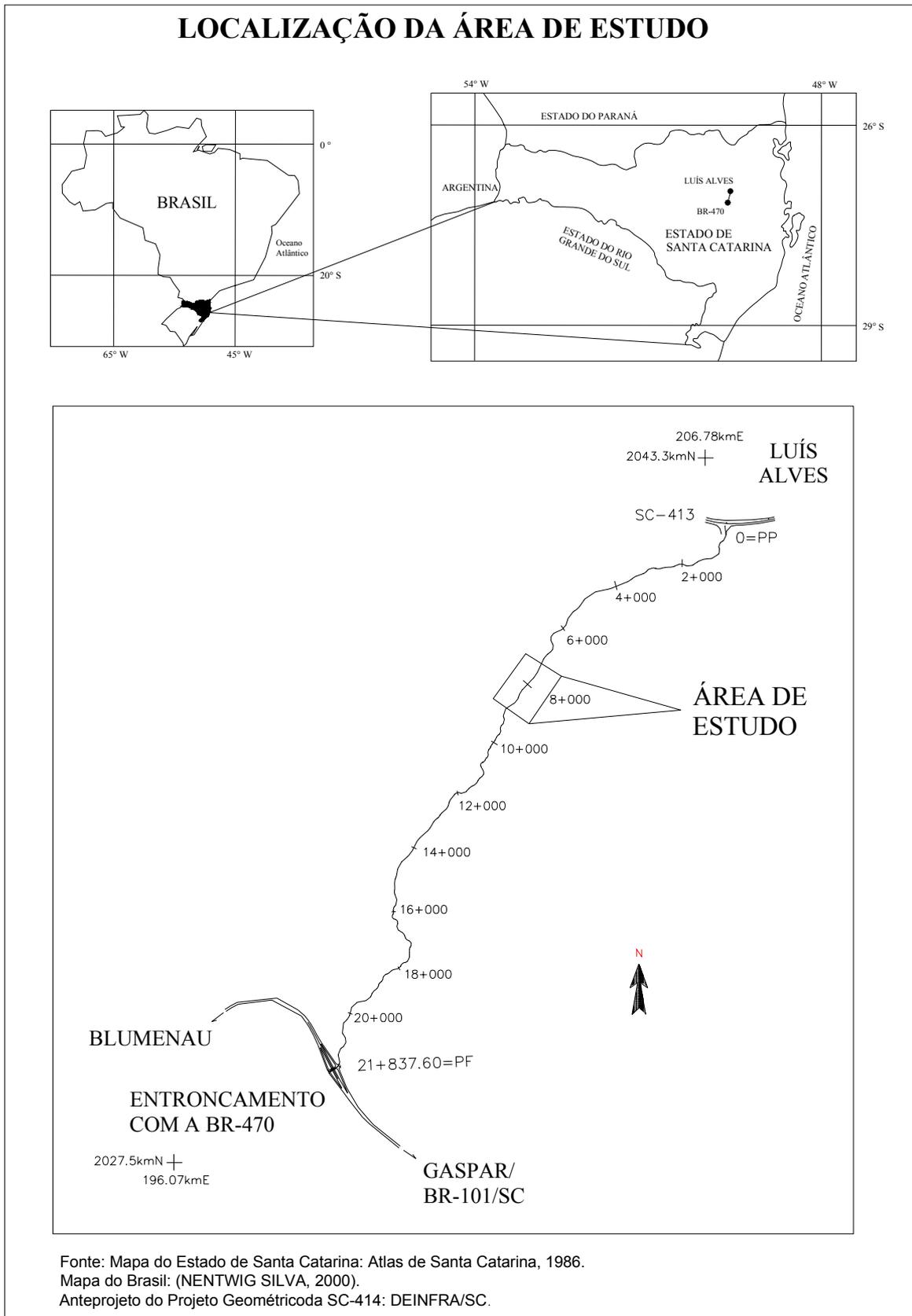
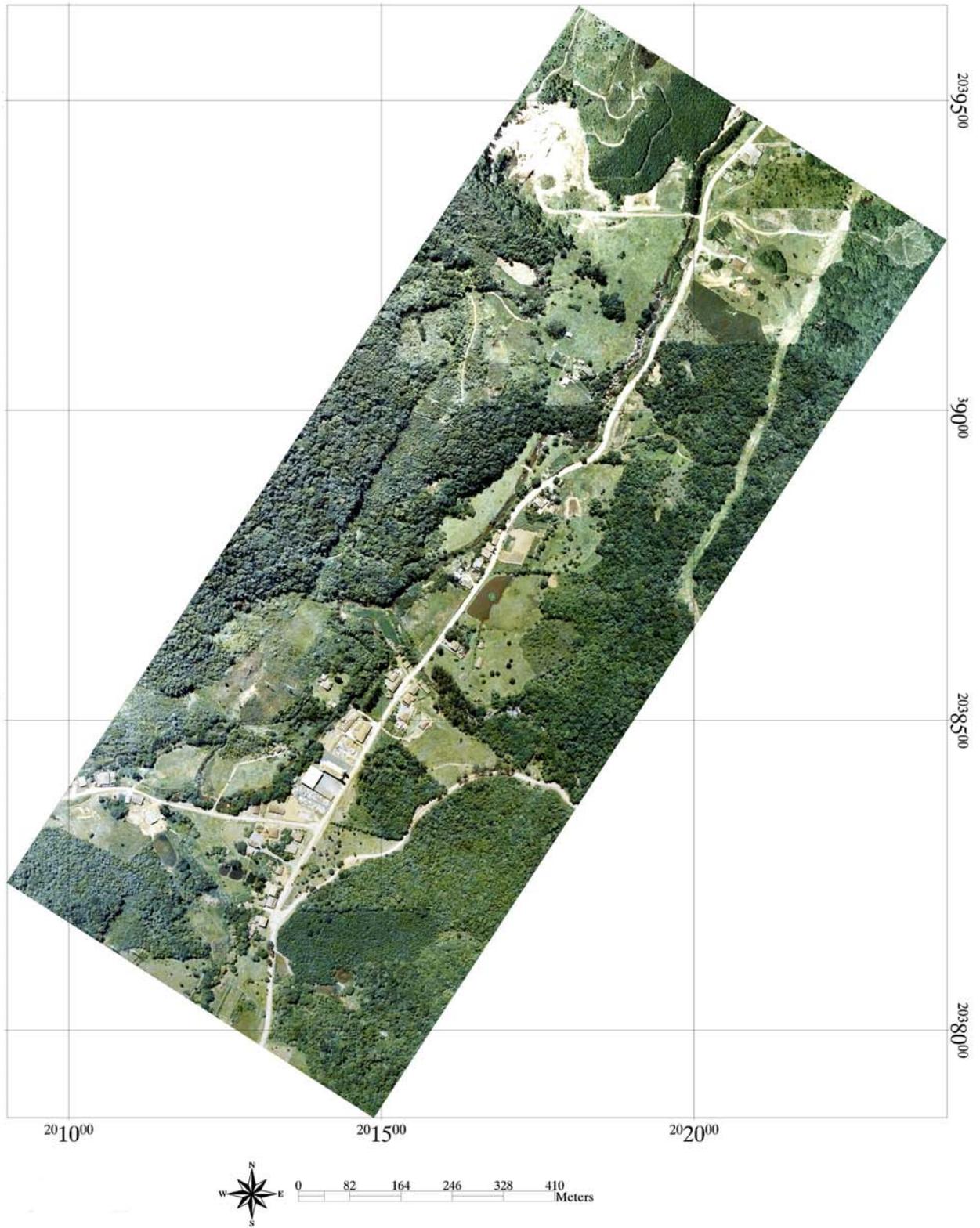


Figura 07: Localização da área de estudo.

Mosaico de Ortofotos da Área de Estudo



b) Aspectos Climáticos

Segundo a Classificação de Koeppen, o clima na área de estudo é do tipo Cfa - mesotérmico, subtropical úmido com verões quentes, sem estação seca, de inverno definido e geadas menos freqüentes, onde:

C - indica clima pluvial temperado; mês mais frio entre -3°C e 18°C;

f - clima sempre úmido com chuva em todos os meses do ano;

a - indica que a temperatura média do mês mais quente supera 22°C;

Na região, a temperatura média anual é 20°C, a umidade relativa média anual está em torno de 85% e as precipitações atingem 1600 mm por ano.

c) Aspectos Hídricos

Segundo o DEINFRA/SC (2003), os corpos hídricos da área de influência do projeto pertencem ao Sistema da Vertente do Atlântico (litoral de Santa Catarina), formado por um conjunto de bacias isoladas, cujos principais rios são o Itajai-Açu, Itapocu, Tijucas e Tubarão.

Os rios da vertente atlântica apresentam um perfil longitudinal bastante acidentado no curso superior e suave no curso inferior, onde se desenvolve por extensas planícies com cursos meandrantés. São rios controlados pelos regimes pluviométricos, com abastecimento normal dos mananciais durante todo o ano e com dois picos máximos de recarga, um na primavera e um no verão.

d) Aspectos Geomorfológicos e Relevo

A área de estudo está inserida na porção do embasamento Exposto, na subdivisão Serras Cristalinas Litorâneas denominada de Serras do Leste Catarinense, que se estendem desde as proximidades de Joinville até Laguna, dispendo-se predominantemente na direção NE-SW e se apresentam gradativamente mais baixas em direção ao litoral, terminando em pontais, penínsulas e ilhas. Na proximidades da costa suas altitudes atingem os 100 metros, retornando-se gradativamente mais altas para o interior, atingindo 900 metros nos Patamares do Alto Itajaí e 1.200 metros nas Serras do Tabuleiro e de Anitápolis (DEINFRA/SC, 2003).

e) Aspectos da Fitoecologia Original

De acordo com o DEINFRA/SC (2003), a área de estudo está inserida na Região Bioclimática da Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica).

Geograficamente, a floresta compreende-se em três tipos fisionômicos de acordo com a altitude do terreno:

- a) No sopé das encostas, ocorre uma mata bem desenvolvida, constituída de árvores altas e de copas densas, com predomínio de espécies higrófilas, acompanhadas pelas espécies indiferentes e companheiras;
- b) Na altura média das encostas predominam os agrupamentos vegetais mais heterogêneos, uma vez que ocorrem plantas higrófilas e xerófitas. O domínio é o da *Ocotea catharinensis* (canela preta), encontradas juntamente com a *Ocotea porosa* (imbuía);
- c) No alto das encostas as condições edáficas são menos favoráveis, com solos mais rasos, rochosos e de rápida drenagem, bem como microclima diferente em função das condições de radiação solar. Apresentam vegetação mais uniforme, com menor diversidade florística e menos desenvolvida, onde predominam espécies seletivas xerófitas.

f) Aspectos da Fauna

A área insere-se, segundo (DEINFRA/SC, 2003), na região faunística do Brasil meridional ou Província Tupi, a qual por sua vez, compreende em parte, os domínios da Floresta Pluvial Atlântica (Floresta Ombrófila Densa ou Mata Atlântica).

De modo geral, na região em estudo, a fauna foi grandemente afetada pelo desmate e pela caça indiscriminada. A maior parte das espécies encontradas são de aves, principalmente passeriformes e alguns pequenos mamíferos (paca, tatu, gambá e bugio).

g) Aspectos Sócio-Econômicos

I. Demografia

Os dados de população dos municípios envolvidos são os seguintes:

CENSO	TOTAL	HOMENS	MULHERES	URBANA	RURAL
Luís Alves	7974	4141	3833	2124	5850
Gaspar	46614	23045	23369	29601	16813

Tabela 1 - DADOS POPULACIONAIS DOS MUNICÍPIOS DE LUÍS ALVES E GASPAR

Fonte: www.ibge.gov.br

II. Economia

A atividade econômica em Gaspar e Luís Alves é diversificada. O Município de Luís Alves possui base econômica eminentemente agrícola, com cerca de 66% da força de trabalho ocupando-se da atividade agrícola e 70% da população dependente do meio rural e automaticamente envolvida com o setor primário, de onde provêm 50% do movimento econômico. A agricultura com mão-de-obra familiar representa 90% das propriedades rurais (cerca de 1.000 propriedade). Luís Alves é o maior produtor de cachaça e o segundo maior produtor de banana do Estado de Santa Catarina.

3.2 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais e equipamentos relacionados e descritos a seguir foram fundamentais para que o projeto proposto se concretizasse.

3.2.1 RECURSOS DE CARTOGRAFIA E DE SENSORIAMENTO REMOTO UTILIZADOS

- Arquivo de pontos Laserscanner, altura de vôo 1000 m, realizado em novembro de 2002 para o anteprojeto do projeto final da rodovia SC-414 Luís Alves – Belchior - BR470 realizado pela empresa ESTEIO S.A. e cedidos pelo DEINFRA/SC.
- Mosaico obtido através de ortofotos digitais, escala de vôo 1:15.000, escaneizado com tamanho de pixel de 0,40 m, realizado em março de 2002 para o anteprojeto do projeto final da rodovia SC-414 Luís Alves – Belchior-BR470 realizado pela empresa ESTEIO S.A. e cedidos pelo DEINFRA/SC.

- Imagem de intensidade dos pontos Laser Scanner.
- Restituição fotogramétrica, escala 1:5.000.
- Cadastro Técnico da área, realizado com levantamento de campo (estação total), escala 1:1000.
- Anteprojeto geométrico do projeto final da rodovia SC-414 Luís Alves – Belchior-BR470.

3.2.2 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

- Computador AMD Duron 700 MHz, 256 MB de memória RAM, disco rígido de 20 Gb, placa de vídeo 32 Mb;
- Scanner de mesa Genius.
- Programa AutoCad 2000 (Autodesk)– para manuseio e georreferenciamento de arquivos CAD;
- Programa MicroStation SE (Bentley) – para manusear os arquivos CAD que serviram de referencia para a filtragem dos arquivos de pontos Laser Scanner.
- Programa TerraScan (Terrasolid Limited)– para o manuseio e classificação dos pontos Laser Scanner;
- Programa ArcView GIS 3.2 (ESRI) – para manuseio de dados, geração de TIN (Triangular Irregular Network), criação de projetos e visualização e análise tridimensional da área de estudo.
- Programa Adobe Photoshop – para tratamento digital das fotografias de campo.

3.3 MÉTODO

Toda a metodologia utilizada na execução deste trabalho está sintetizada na forma de fluxograma da figura 9:

APLICAÇÃO DE PRODUTOS FOTOGRAMÉTRICOS E DO SENSOR LASER SCANNER EM PROJETOS RODOVIÁRIOS

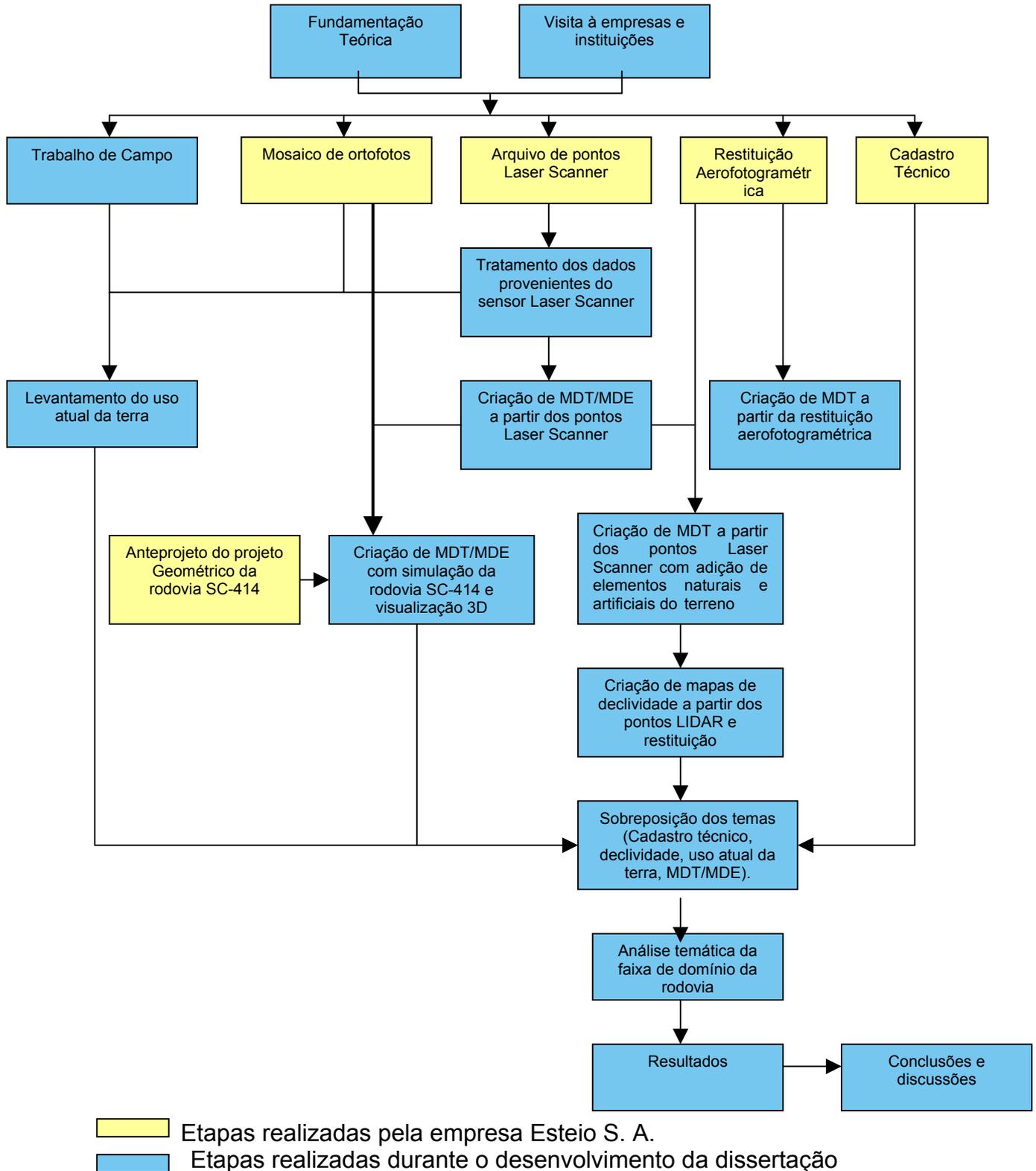


Fig. 09 – Fluxograma de execução dos trabalhos

3.3.1 VISITAS E ENTREVISTAS EM EMPRESAS E INSTITUIÇÕES

O objetivo inicial das visitas foi obter informações sobre a utilização do sensoriamento remoto para projetos de engenharia. No decorrer do trabalho, as visitas tornaram-se imprescindíveis para a realização deste estudo. Principalmente pelo envolvimento da tecnologia Laser Scanner, recente no país e com poucos profissionais e pesquisadores utilizando-a e sem livros publicados sobre o assunto em nível nacional o que torna o acesso ao seu conhecimento um tanto quanto restrito.

3.3.2 TRATAMENTO DOS DADOS PROVENIENTES DO SENSOR LASER SCANNER

Após o vôo de levantamento Laser Scanner, são disponibilizados três conjuntos de informações: os dados de calibração e parâmetros de montagem (obtidos antes do vôo), medidas de distâncias LASER com seus respectivos ângulos de escaneamento e os dados POS. Esses dados são processados e integrados (o procedimento detalhado foi apresentado na página 40), obtendo-se ao final desta etapa uma nuvem de pontos Laser Scanner, tradicionalmente apresentada em um conjunto de coordenadas tridimensionais no sistema WGS-84 e o registro de intensidade dos pulsos LASER.

Nesta etapa ainda é impossível diferenciar quais informações correspondem ao relevo ou a qualquer outro fenômeno geográfico ou objeto presente na superfície estudada. Para isso, é necessário realizar um tratamento adicional que permite separar as informações obtidas no levantamento. Neste estudo, o tratamento foi realizado em três etapas principais: filtragem, classificação e edição manual da nuvem de pontos.

A definição de filtragem e classificação ocorre de acordo com o objetivo a ser alcançado e não com o método empregado. Remover pontos indesejados, como no caso de encontrar a superfície terrestre em uma mistura de pontos refletidos por ela e refletidos pela vegetação, é definido como filtragem dos pontos Laser Scanner. Já a tarefa de encontrar uma estrutura geométrica ou estatística específica, como construções ou vegetação, é definida como classificação (AXELSSON, 1999). A etapa de edição manual foi adicionada ao tratamento dos dados levando-se em conta que o método automático de filtragem e classificação por algoritmos próprios para este fim

atualmente não são capazes de alcançar resultados satisfatórios na tarefa a que se propõem.

Para gerar um MDT que represente a superfície terrestre da forma mais próxima da realidade, a correta definição desta superfície na nuvem de pontos LASER é imprescindível. Isto faz do tratamento dos dados provenientes do sensor uma tarefa muito importante e que influencia sobremaneira na qualidade final do MDT.

Na figura 10, apresenta-se o fluxograma desenvolvido para o tratamento dos dados Laser Scanner.

Tratamento dos dados Laser Scanner

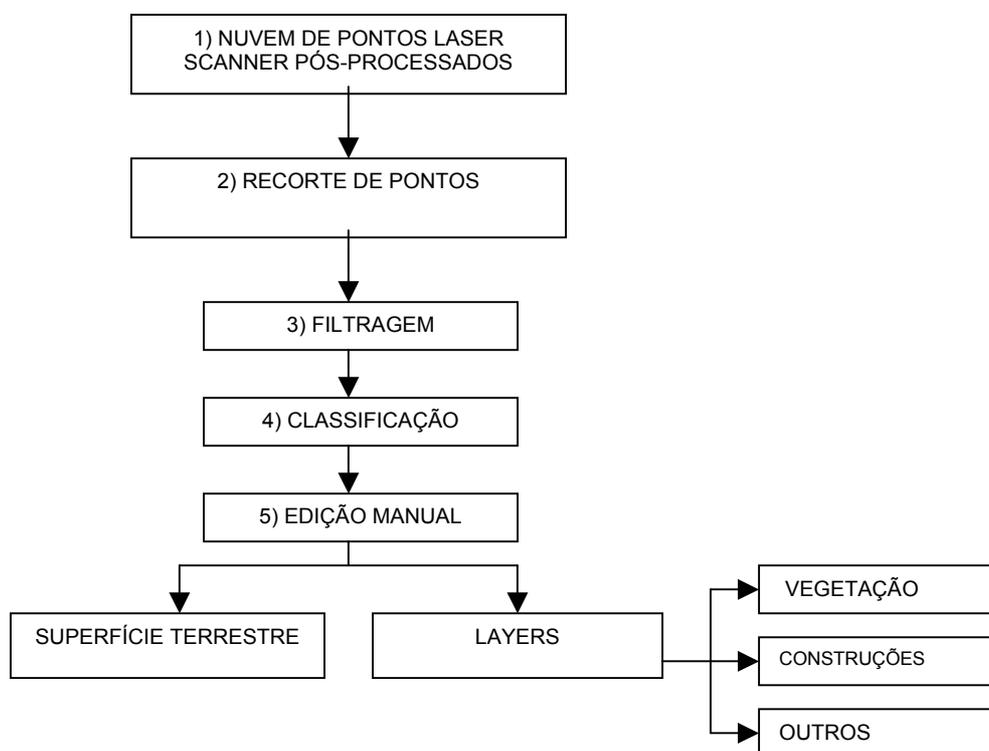


Figura 10: Fluxograma de tratamento de dados derivados do sensor Laser Scanner

1) NUVEM DE PONTOS LASER SCANNER PÓS-PROCESSADOS

Todos os dados lidar pós-processados devidamente georreferenciados sem filtragem ou análise adicional.

2) RECORTE DA ÁREA DE ESTUDO

Inicialmente, os arquivos de pontos Laser Scanner foram recortados para coincidir com o mosaico de ortofotos que define a área de influência direta de impactos ambientais.

Importou-se o mosaico de ortofotos para o CAD e os pontos Laser Scanner no programa TerraScan, os pontos foram sobrepostos ao mosaico e aqueles que se encontravam fora da área de estudo foram eliminados. Para isso, utilizou-se a ferramenta “point – delete – inside a fence”.

O recorte resultou em um arquivo com 582.407 pontos LASER.

3) FILTRAGEM

Foi realizada uma filtragem automática da nuvem de pontos LASER com o objetivo de separá-los em pontos que tocaram à superfície terrestre e pontos que tocaram outros elementos (objetos).

A filtragem foi feita no programa TerraScan, que possui uma ferramenta específica para esta tarefa (*classify – routine – ground*). Os parâmetros para a utilização desta ferramenta (ângulo do terreno, ângulo e distância de interação) foram definidos com base na análise dos resultados de diversos testes de filtragem realizados na área de estudo utilizando-se diferentes parâmetros.

4) CLASSIFICAÇÃO

Na classificação da nuvem de pontos definida na filtragem como não pertencente à superfície terrestre foram criados *layers* separando os principais elementos encontrados na área de estudo. O objetivo principal da classificação foi auxiliar a encontrar pontos pertencentes à superfície terrestre definidos erroneamente como objetos no processo de filtragem, o que influencia na qualidade final do MDT e do MDE. Foram definidos três *layers* de objetos: vegetação, construções e “outros” (linhas e torres de transmissão).

As edificações foram classificadas através da ferramenta “*classify – routine – building*” do TerraScan. A vegetação e as linhas de transmissão foram classificadas de

acordo com a sua altura em relação à superfície terrestre através da ferramenta “*classify – routine – by height from ground*”.

5) EDIÇÃO MANUAL

Nesta etapa, o conjunto de pontos filtrado e classificado automaticamente foi analisado no ArcView. De acordo com AXELSSON (1999), em muitos casos é impossível interpretar os dados LASER a não ser que imagens orientadas estejam disponíveis. Com base nesta afirmação, os pontos LASER foram sobrepostos à imagem de intensidade Laser Scanner e ao mosaico de ortofotos para identificar possíveis pontos filtrados e classificados erroneamente e possibilitando a sua correção. Pontos que incidiram em corpos d’água foram eliminados para evitar que eles gerassem erros na construção de MDTs. Esta foi a etapa que consumiu a maior quantidade de tempo no tratamento dos dados do Laser Scanner.

Os pontos referentes à linhas e torres de transmissão de energia foram selecionados nesta etapa do tratamento dos dados Laser Scanner diretamente do arquivo de pontos classificados como vegetação (pode-se distinguir visualmente no TerraScan os pontos pertencentes a esta classe)

Ao final desta etapa, dispunha-se do arquivo de pontos que tocaram à superfície terrestre e os arquivos de pontos dos layers (vegetação, construções e “outros”) completamente editados e revisados. Todos os arquivos de pontos Laser Scanner foram salvos como arquivos ASCII X, Y, Z para serem posteriormente adicionados como tabela no programa ArcView GIS para a geração de MDTs e MDEs.

3.3.3 LEVANTAMENTO DO USO ATUAL DA TERRA UTILIZANDO FOTOINTERPRETAÇÃO

A expressão uso atual da terra pode ser entendida como a forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem e o levantamento do uso da terra em determinada área, tornou-se fundamental para quantificar e entender os padrões de organização da atividade humana sobre o espaço (DALE & MCLAUGHLIN, 1990).

Os mapas de uso atual estão baseados em características geográficas que podem ser identificadas por fotografias aéreas. Conseqüentemente a classificação é

usualmente feita em bases do tipo predominante de vegetação ou cobertura vegetal, floresta ou outra forma de vegetação natural, terra urbana, área cultivada e pastagem, entre outras (SEIFFERT, 1996).

Realizou-se uma fotointerpretação preliminar no mosaico de ortofotos. Inicialmente importou-se o mosaico de ortofotos para o programa CAD, analisando-o com o auxílio das ferramentas de zoom do programa. Delineou-se com as ferramentas de desenho do programa as áreas com distintos aspectos de uso da terra e foi impressa uma figura contendo estas linhas sobrepostas ao mosaico. Esse material serviu de base para a visita de campo. As classes de uso da terra compõem-se em grande parte de vegetação (capoeira e capoeirinha), pastagem, algumas áreas de reflorestamento e alguns cultivos anuais.

Na reambulação de campo, procurou-se tirar as dúvidas quanto aos elementos interpretados com o auxílio do mosaico de ortofotos. Também procedeu-se a tomada de fotografias aéreas coloridas para caracterizar as diferentes classes identificadas nas ortofotos.

Após a visita de campo, estudou-se minuciosamente o mosaico de ortofotos, com auxílio das ferramentas de zoom do AutoCad. O próximo passo foi definir e digitalizar as classes de interesse a serem obtidas na fotointerpretação. As classes definidas foram:

1. Área edificada;
2. Solo Exposto;
3. Áreas de Cultivo;
4. Pastagem;
5. Reflorestamento
6. Vegetação Densa;
7. Vegetação Rala;
8. Rios;
9. Açudes;
10. Rede viária.

3.3.4 GERAÇÃO DE MODELO DIGITAL DO TERRENO (MDT) E MODELO DIGITAL DE ELEVÇÃO (MDE)

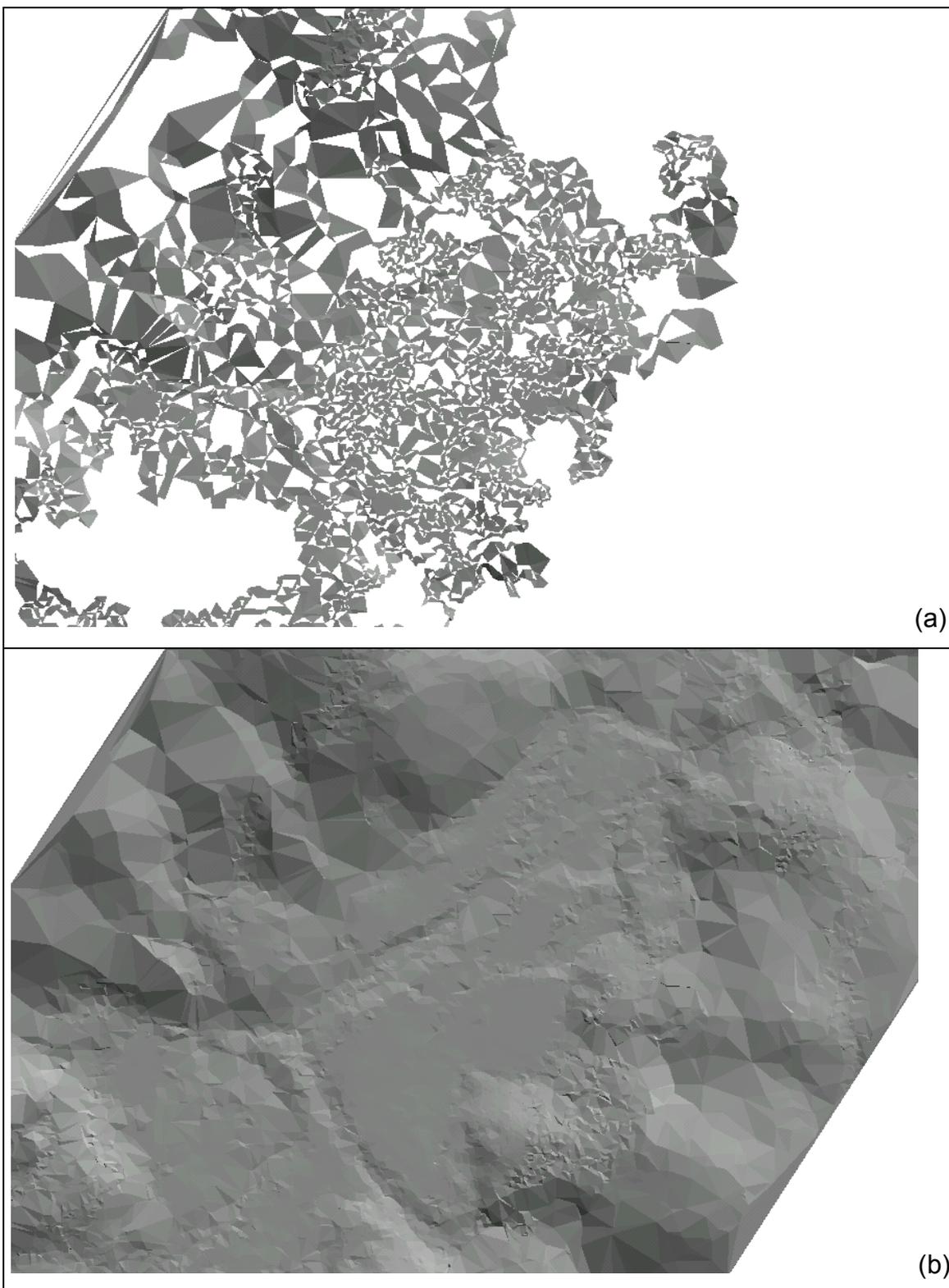
Para os estudos que envolvem um projeto de implantação de rodovia, um Modelo Digital do Terreno que descreva o local de implantação o mais próximo possível da situação real é muito importante.

De acordo com KRAUS & PFEIFER (1998), os contornos derivados de um MDT somente com os pontos Laser Scanner são pobres em detalhes geomorfológicos. Até mesmo aplicando-se filtragem e classificação, os contornos derivados de um MDT apresentam baixa qualidade geomorfológica. Com o intuito de gerar um MDT que descrevesse de forma mais aproximada possível a superfície real da área de estudo, foram gerados três MDTs para posterior comparação visual e escolha do mais apropriado: (1) a partir das curvas de nível da restituição aerofotogramétrica, (2) a partir dos pontos Laser Scanner e (3) a partir dos pontos Laser Scanner com adição de breaklines vetorizadas na restituição aerofotogramétrica.

Para gerar um MDT ou MDE no programa ArcView GIS foi necessário inicialmente que se criasse um TIN, que apresenta como característica a possibilidade de adição de breaklines ao modelo.

Os arquivos de pontos Laser Scanner foram adicionados como tabelas e abertas como temas em um projeto do ArcView. Selecionou-se os temas que fariam parte da construção do TIN, que foi criado através da ferramenta “Surface – Create TIN from features” disponível na extensão 3D Analyst do ArcView GIS. A figura 11 ilustra o processo de construção de parte do MDT através de estrutura TIN.

Para a construção do MDE, não foram utilizados os pontos LASER referentes às linhas e torres de transmissão.



Figuras 11 (a) e (b) – Processo de construção de parte do MDT.

VISUALIZAÇÃO 3D DA ÁREA DE ESTUDO

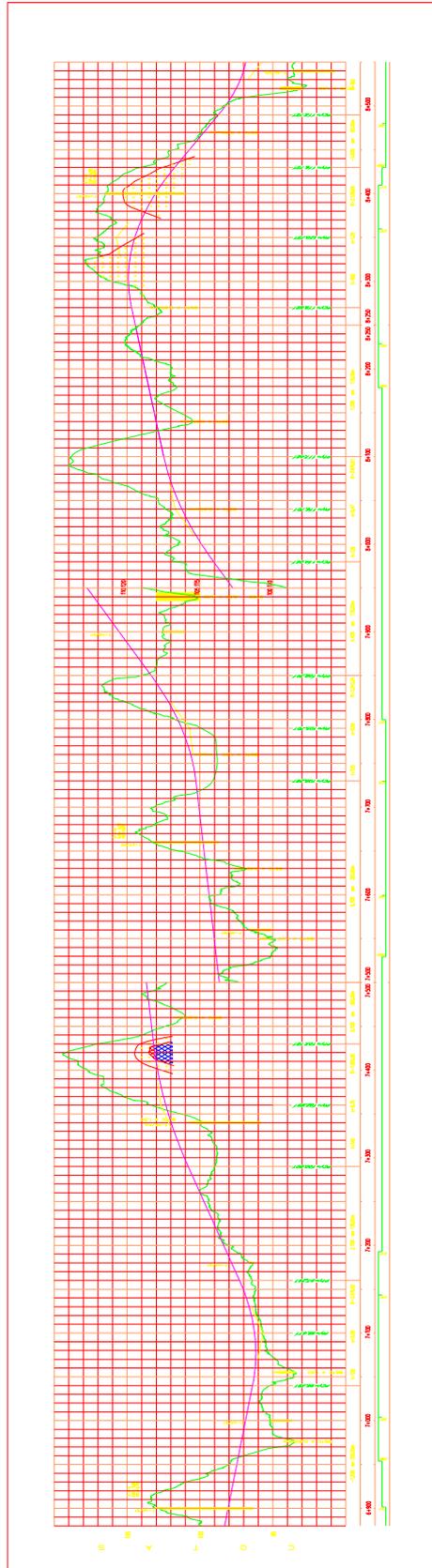
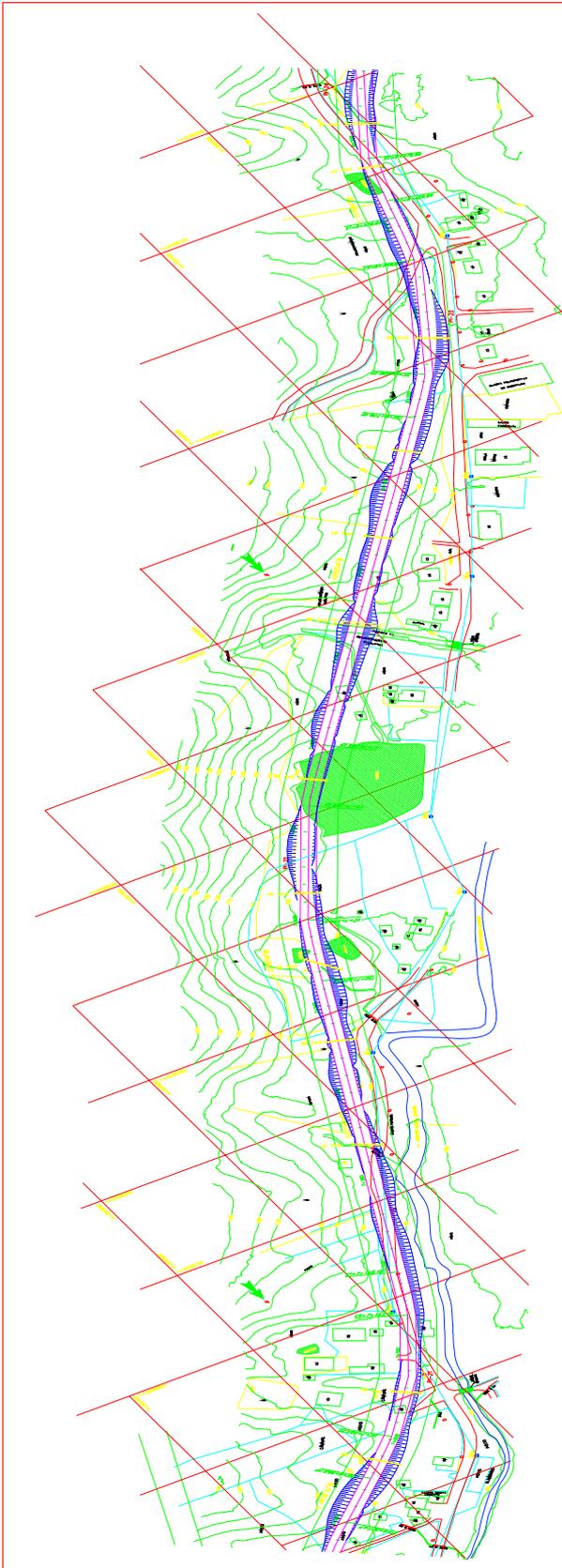
O software escolhido para a visualização tridimensional da área de estudo foi o ArcView GIS 3.2a, devido a facilidade de manipulação deste tipo de cena, além de propiciar ferramentas para se fazer modificações de cores, alteração de temas representados e forma como estes são associados.

O software permite representação tridimensional do terreno em projeção paralela. Nesta projeção, a distância entre o plano de projeção e o centro de projeção é infinita. As linhas que são paralelas no modelo continuam paralelas. Uma vez que a distância do observador à superfície é infinita

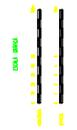
As representações tridimensionais dos diversos modelos digitais do terreno criados anteriormente no ArcView foram obtidas através da ferramenta “*View - 3D Scene*”. Tem-se também a possibilidade de sobrepor temas que não contenham informação altimétricas na representação tridimensional do TIN. O procedimento a ser seguido é, com a janela da cena ativa, selecionar o tema que se deseja adicionar a superfície e mudar as propriedades deste tema em “*Theme – 3D Properties*”. Em *Assign base heights by*: informar que o tema terá suas cotas modificadas de acordo com o TIN criado clicando em “*Surface*”.

3.3.5 GERAÇÃO DE MDT E MDE COM ADIÇÃO DO ANTEPROJETO GEOMÉTRICO DA RODOVIA SC-414

Para fazer a simulação de como ficaria a área de estudo com a nova rodovia implantada, necessitava-se inicialmente de uma planta com informações planialtimétricas da nova rodovia e das linhas de *offset* que seriam incorporadas ao TIN e visualizadas em formato tridimensional. A planta do anteprojeto do projeto geométrico da rodovia em formato digital não continha essas informações. Elas estavam disponíveis somente no corte transversal do anteprojeto (Figura 12).



Scale 1:4
Scale 1:100
Scale 1:1000
Scale 1:5000
Scale 1:10000
Scale 1:20000
Scale 1:50000
Scale 1:100000
Scale 1:200000
Scale 1:500000
Scale 1:1000000



S
B
A
B
T
O
C

Para incorporá-las a planta planimétrica procedeu-se da seguinte maneira:

- a) Foram marcados na planta os pontos de 10 em 10 metros no centro da rodovia;
- b) Mediu-se no corte transversal do projeto geométrico a cota Z de cada ponto;
- c) No CAD, foi adicionado para cada ponto existente a cota Z medida anteriormente;
- d) Ligou-se estes pontos com uma *polilíne*;
- e) Repetiu-se esse procedimento para os bordos direito e esquerdo da nova rodovia, obtendo-se assim a representação planialtimétrica da mesma;
- f) Para se determinar a cota Z das linhas de *offset*, foram inseridos pontos nos locais onde as curvas de nível se cruzam com as linhas de *offset*. Em locais onde necessitava-se de pontos de cota e não havia cruzamento de curvas de nível, fez-se uma interpolação para encontrar o valor de Z. Os pontos foram ligados através de *polylines*, obtendo-se assim uma representação planialtimétrica dos *offsets* da nova rodovia a ser implantada.

Feito isso, os arquivos CAD da rodovia e do *offset* foram adicionadas como um tema no ArcView. Os TINs para o MDT e o MDE foram gerados da forma descrita no item 3.3.4, obtendo-se assim o Modelo Digital do Terreno com a simulação da rodovia projetada.

3.3.6 CRIAÇÃO DE CARTAS DE DECLIVIDADE

A declividade do terreno pode ser definida como a inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal (INPE, 2002).

As cartas de declividade foram obtidas a partir dos pontos Laser Scanner editados manualmente com adição de *breaklines* naturais e artificiais do terreno.

Para a presente pesquisa, adotou-se a proposta de De Biasi (1977), que estabelece cinco classes de declividade:

DECLIVIDADE (%)	
0 a 5%	Limite utilizado internacionalmente para uso urbano-industrial
5 a 12%	Essa classe define o limite máximo do emprego da mecanização na agricultura
12 a 30%	Essa classe tem o limite máximo de acordo com a legislação – Lei 6766/79 – que o define como o limite máximo para urbanização sem restrições
30 a 47%	Com base no código florestal, que estabelece como limite máximo para o corte raso 25° (47%)
47 a 100%	Conforme o artigo 10 do código florestal, que não permite o corte florestal em áreas com inclinação entre 25° a 45° (100%).
100% ou maior	Área de Proteção Permanente – APP (artigo 2° do Código Florestal Brasileiro)

Quadro 1: Classes de declividade

Fonte: modificado de De Biasi, 1977

As cartas de declividade foram criadas para possibilitar uma visualização e análise do terreno e das propriedades rurais levando-se em conta a declividade do terreno. Elas foram utilizadas para definir áreas consideradas de preservação permanente devido a sua inclinação (Código Florestal Brasileiro) e áreas aptas para urbanização sem restrições (Lei 6766/79). Estas últimas foram definidas devido à propensão de ocupação desordenada das faixas de domínio da rodovia e áreas próximas a esta após a construção, o que se constitui hoje em grave problema social e ambiental.

3.3.7 ANÁLISE TEMÁTICA DA FAIXA DE DOMÍNIO

A análise da situação ambiental da faixa de domínio e das propriedades foi realizada através do cruzamento da carta de declividade, base cadastral, mapa de uso atual da terra e projeto geométrico da rodovia SC-414. Foram seguidas as recomendações do Manual de procedimentos Ambientais do DER/SC.

Dentro da faixa de domínio da rodovia, foi verificada a existência:

- a) de áreas de preservação permanente devido à declividade do terreno;

- b) áreas não aptas à urbanização sem restrições;
- c) de áreas de preservação permanente devido à proximidade com cursos d'água;
- d) o tipo de uso destas áreas na época da tomada das fotografias aéreas;
- e) a declividade do terreno e a probabilidade de ocorrerem processo erosivos na área cortada pela rodovia SC-414;
- f) as áreas a serem desmatadas para a construção da rodovia;
- g) de possíveis vias de circulação de animais cortadas pela rodovia SC-414;

Foram analisadas duas propriedades que têm parte de sua área dentro da faixa de domínio da rodovia SC-414. Verificaram-se quais áreas serão perdidas com a construção da rodovia. Cruzando o mapa de uso do solo com a carta de declividade foi verificado se as propriedades não estavam em desacordo com a legislação, com cultivos em APPs. Também foi analisado o uso do solo levando-se em conta a declividade do terreno.

O cruzamento dos mapas foi feito em meio digital criando-se um projeto no software ArcView GIS, o que possibilitou uma análise eficaz da faixa de domínio e das propriedades rurais.

As análises foram realizadas com base no cruzamento dos produtos e mapas gerados e nas informações coletadas com os proprietários rurais durante as visitas de campo.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 VISITAS E ENTREVISTAS EM EMPRESAS E INSTITUIÇÕES

As visitas à empresas e ao Departamento Estadual de Infraestrutura – Santa Catarina (DEINFRA) em Florianópolis e Curitiba foram realizadas entre os meses de janeiro e agosto de 2003. Através de entrevistas com diversos engenheiros (civis, cartógrafos e ambientais) pode-se constatar que ainda hoje poucas empresas de engenharia utilizam produtos de Sensoriamento Remoto em seus trabalhos. A maioria dos profissionais simplesmente desconhece os benefícios que tais produtos poderiam trazer aos estudos que realizam.

O maior emprego de produtos de sensoriamento remoto foi verificado nas empresas de engenharia que também realizavam aerolevanteamento. Nestas, não só estava se utilizando fotografias aéreas, mas também estavam sendo realizados trabalhos envolvendo imagens de satélites (LANDSAT, SPOT).

Em estágio realizado na empresa de engenharia e aerolevanteamentos Esteio S. A. de Curitiba, tomou-se conhecimento das várias etapas existentes na obtenção dos produtos aerofotogramétricos e foi dada a oportunidade de contato pessoal com profissionais de diversas áreas envolvidas nos projetos (engenheiros civis e cartógrafos, geólogos, geógrafos). Pode-se observar a transição de tecnologia, com os trabalhos de restituição em aparelhos analíticos sendo gradativamente substituídos pelos digitais.

Durante o período de estágio, tomou-se conhecimento do projeto da rodovia SC-414, onde utilizou-se mosaico de ortofotos e produtos derivados do sensor Laser Scanner nos estudos referentes ao anteprojeto do projeto final de engenharia. Junto ao DEINFRA-SC, obteve-se a autorização para a utilização do material referente a este projeto.

Sabendo-se que o Instituto Tecnológico para o Desenvolvimento (LACTEC) havia adquirido recentemente um sensor Laser Scanner e que já havia pessoal especializado trabalhando com a tecnologia, entrou-se em contato com profissionais do instituto e foi obtida permissão para utilizar um levantamento realizado com o sensor em uma área rural da cidade de Mandirituba – PR. Além disso, nas várias visitas que

se seguiram, realizou-se um treinamento, onde a equipe que trabalha com o Laser Scanner auxiliou nos primeiros contatos com a tecnologia, dando uma visão geral sobre o trabalho com os pontos Laser Scanner, programas que poderiam ser utilizados e resultados que vinham sendo obtidos. O treinamento no programa de manipulação dos pontos Laser Scanner (TerraScan) foi todo realizado utilizando-se a área cedida pelo instituto como material base.

No mês de maio de 2003 obteve-se os produtos cedidos pelo DEINFRA-SC necessários para a realização do estudo, que constavam do mosaico de ortofotos e arquivos de pontos e de sinal de intensidade do Laser Scanner.

Como o material cedido pelo LACTEC não continha imagens que não as feitas por uma câmera filmadora acoplada ao sensor Laser Scanner e que apresentava grandes distorções, seria difícil realizar o estudo proposto e optou-se por utilizar somente o material cedido pelo DEINFRA-SC.

Foram realizadas mais algumas visitas ao setor de engenharia da empresa de aerolevantamentos com o intuito de observar como os produtos do sensor Laser Scanner vinham sendo utilizados no projeto da rodovia SC-414.

Com os conhecimentos fundamentais obtidos durante as visitas e treinamentos obtidos nas empresas e instituições, finalmente iniciou-se à realização dos estudos visando à aplicação dos produtos obtidos através da integração dos produtos do sensor Laser Scanner em projetos rodoviários.

4.2 TRATAMENTO DOS DADOS PROVENIENTES DO SENSOR LASER SCANNER

4.2.1 FILTRAGEM DOS PONTOS LASER SCANNER

A quantidade de pontos definidos através da filtragem, como superfície terrestre, foi de 137.701 pontos, o que representa 23,70% do total de pontos LASER da área. Foram definidos como não pertencente à superfície terrestre (Objetos) 443.310 pontos, o que representa 76,30% do total de pontos LASER da área.

Sobrepondo-se a nuvem de pontos Laser Scanner obtida após a filtragem e o mosaico de ortofotos e a imagem de intensidade foram identificadas diversas áreas

onde pontos foram definidos erroneamente como pertencentes ou não à superfície terrestre. Os problemas encontrados na filtragem referem-se principalmente ao padrão de reflexão dos pulsos LASER em corpos d'água, a elementos com pequena altura em relação à superfície terrestre (barragens), áreas com declive acentuado, sobreposição de faixas e objetos ligados à superfície terrestre (pontes).

A seguir são apresentadas figuras de áreas selecionadas com o propósito de ilustrar os resultados da filtragem. Os pontos definidos neste processo como aqueles que tocam a superfície terrestre estão representados na cor laranja. Aqueles que foram definidos no processo de filtragem como não pertencentes a esta superfície estão representados na cor branca (com exceção da figura solo exposto, onde a cor branca foi substituída pela cor preta).

Quanto mais próximo da superfície terrestre (objetos baixos – figura 13) maior a dificuldade do algoritmo em diferenciar entre o objeto e a superfície. Este problema é complicado até mesmo se não houver necessidade de filtrar corretamente os objetos pequenos e estreitos do terreno.

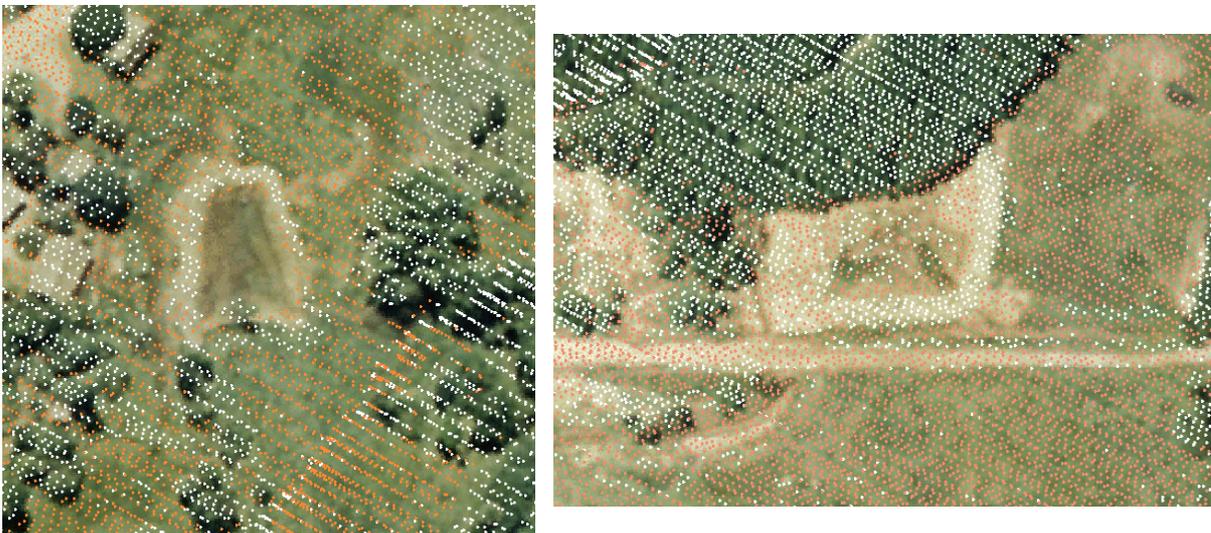


Figura 13: Problemas na filtragem da nuvem de pontos Laser Scanner: elementos baixos (próximos à superfície terrestre).

Na figura 14, têm-se pontos eliminados erroneamente no processo de filtragem (em branco) devido ao fato de estarem em uma área de alta declividade (maior que 20°).

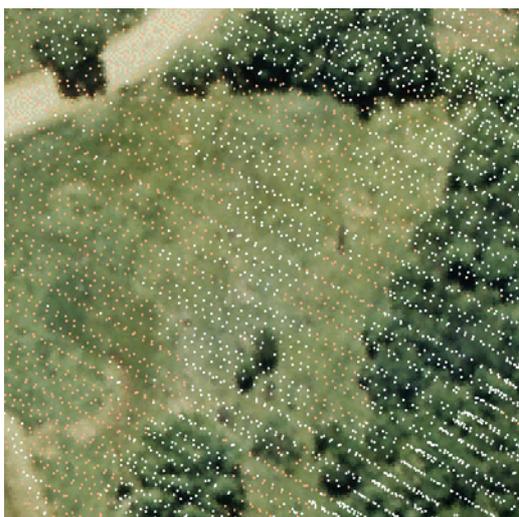
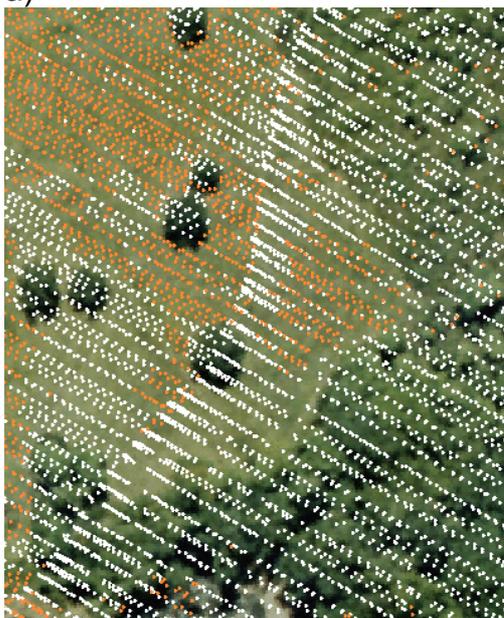


Figura 14: Problemas na filtragem da nuvem de pontos Laser Scanner: declive acentuado.

Devido a erros de orientação interna da plataforma (determinada com um GPS e um IMU), faixas laser adjacentes geralmente não coincidem exatamente, apresentando uma diferença na componente z da ordem de 10cm ou superior (PFEIFER, STADLER & BRIESE, 2001). Conforme a figura 15b observou-se uma diferença de aproximadamente 0,12m entre faixas em áreas de pastagem. Esta diferença de altura faz com que pontos da superfície terrestre sejam eliminados na filtragem (figura 15a).

a)



b)



Figura 15a e 15b: Problemas na filtragem da nuvem de pontos Laser Scanner: sobreposição de faixas

Os filtros normalmente não são capazes de fazer uma distinção razoável entre objetos que se elevam sobre a superfície terrestre e aqueles que são ligados a ela (por exemplo, pontes). Assim, a remoção de pontes pode ocorrer totalmente, parcialmente e mesmo não ocorrer. Outro problema encontrado na filtragem é a definição do local onde a ponte começa e onde termina.

Os resultados encontrados na área de estudo foram distintos. A ponte na figura 16a foi definida no processo de filtragem como superfície terrestre, enquanto que a ponte da figura 16b foi definida como objeto.



Figura 16a e 16b: Problemas na filtragem da nuvem de pontos Laser Scanner: pontes

4.2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS PONTOS LASERSCANNER

Após a filtragem, os pontos definidos como objetos foram classificados. Eles eram compostos por pontos que tocaram a vegetação, construções, linhas e torres de transmissão e pontos da superfície terrestre definidos erroneamente como não pertencentes a ela. Além de possibilitar a separação dos pontos eliminados na filtragem em diferentes layers, a classificação auxiliou na identificação dos pontos definidos erroneamente no processo de filtragem.

Primeiramente procurou-se encontrar os pontos pertencentes à construções, logo após foram determinados os pontos pertencentes à vegetação. A tabela 2 mostra a quantidade de pontos definidos em cada layer após a classificação.

Layer	Nº de pontos	Porcentagem com relação ao nº total de pontos definidos como objetos
Vegetação	434.887	98,10
Construções	8.423	1,90
Total	443.310	100

TABELA 2 – Número de pontos Laser Scanner por layer após a classificação

Embora as rotinas de classificação do TerraScan tenham separado os pontos nos diferentes layers, dificuldades foram encontradas principalmente quanto à classificação de construções. Muitos pontos que tocaram construções não foram classificados como tais (figura 17a e 17 b), enquanto que outros pertencentes à superfície terrestre e vegetação foram definidos pelo software como sendo construções (figura 18a, 18b e 18c). Em algumas construções (a maioria com telhados apresentando pouca inclinação), todos os pontos foram corretamente classificados (figura 19).

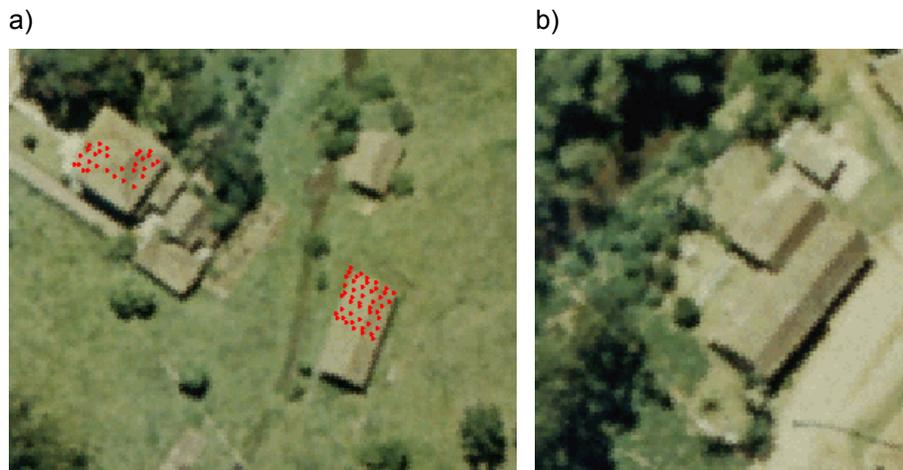


Figura 17a e 17b: Problemas na classificação da nuvem de pontos Laser Scanner: a) somente alguns pontos foram classificados como construção; b) nenhum ponto foi classificado como construção.

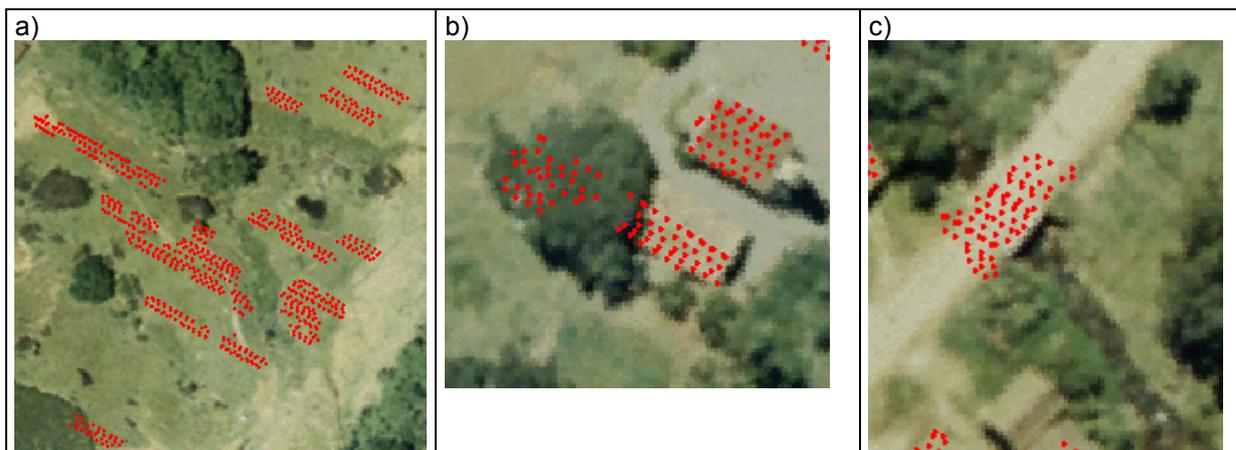


Figura 18a, 18b e 18c: Problemas na classificação da nuvem de pontos Laser Scanner: a) áreas com declive acentuado; b) árvore próxima à construção; c) ponte.

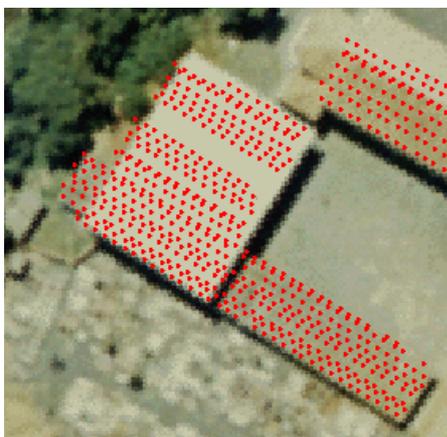


Figura 19: Pontos classificados corretamente como construção

4.2.3 EDIÇÃO MANUAL DOS PONTOS LASER SCANNER

A figura 20 ilustra o resultado obtido após a filtragem, classificação e edição manual dos pontos LASER de parte da área de estudo. Os pontos definidos como superfície terrestre estão representados na cor laranja, os definidos como construções na cor vermelha, pontos referentes à linhas e torres de transmissão estão representados na cor roxa e os definidos como vegetação na cor verde.



Fig. 20 – Pontos Laser Scanner após edição manual.

A figura 21 ilustra em corte o resultado obtido após a edição manual dos pontos LASER. Os pontos definidos como pertencentes à superfície terrestre estão representados na cor laranja, a vegetação é representada em verde e as construções em vermelho. Na figura 22 tem-se uma foto de dezembro/2003 do local representado na figura 21.

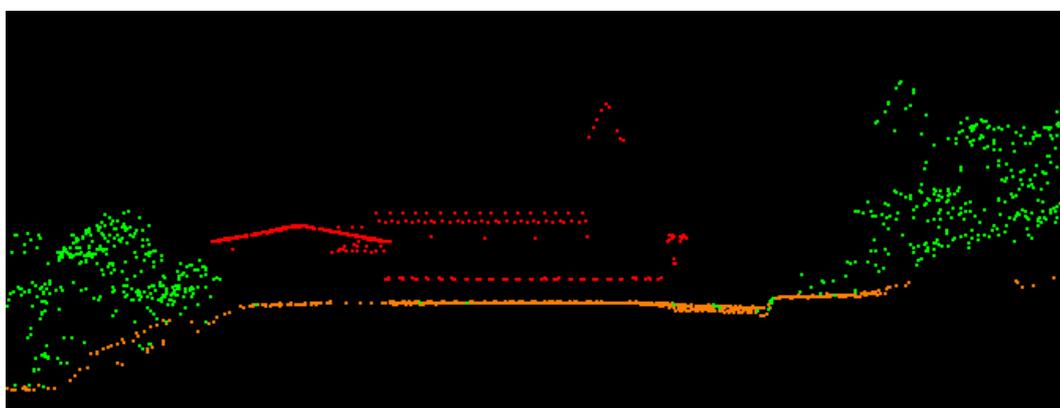


Fig. 21 – Vista em corte dos pontos LASER após edição manual.



Figura 22 – Foto mostrando aproximadamente a cena da figura 21

A tabela 3 mostra a quantidade de pontos definidos como superfície terrestre nos diferentes layers após a edição manual e a diferença em número de pontos definidos em cada layer antes e depois da edição manual.

Layer	Nº de pontos após edição manual (1)	Nº pontos antes edição manual (2)	Diferença em nº de pontos (1-2)	Diferença percentual entre 1 e 2
Sup. terrestre	143.470	137.701	5769	4,20
Construções	5840	8.423	- 2583	30,67
Vegetação	430.515	434.887	4372	1,00
Outros	1186	-	-	-
Total	581.011	581.011	-	-

TABELA 3 – Comparação entre o número de pontos definidos como superfície terrestre e demais layers antes e após edição manual.

Além de servirem com base para a construção do MDT e do MDE, as informações provenientes do sensor Laser Scanner serviram como complemento ao mosaico de ortofotos, para o levantamento de uso atual da terra. Áreas de sombra no mosaico de ortofotos puderam ser analisadas na imagem de intensidade de pontos Laser Scanner e em cortes transversais no arquivo de pontos 3D. Em áreas com vegetação onde havia dúvidas quanto à definição de classe, pode-se diferenciar mata

rala e mata densa com base na observação e medição da altura e densidade de pontos LASER.

4.3 ANÁLISE DO MOSAICO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS

Através da análise do mosaico de ortofotos foi possível definir o uso do solo para as áreas de influência direta e diretamente afetada pela construção da rodovia SC-414. Foi possível a identificação de benfeitorias como as edificações.

A definição de benfeitorias é muito importante para a confecção do Cadastro Individual de Propriedade do DER. As benfeitorias demarcadas em fotografias aéreas servem como base para os trabalhos de campo. Outros elementos para esse cadastro e que puderam ser analisados a partir do mosaico de ortofotos foram as culturas (tipo, área, quantidade) e servidões, estradas e acessos (natureza, estaca inicial, extensão e área) de cada propriedade rural.

Elementos que afetam a qualidade final de MDT como pequenas barragens em açudes também puderam ser demarcados no mosaico de ortofotos.

4.3.1 LEVANTAMENTO DO USO ATUAL DA TERRA

O levantamento do uso da terra efetuado neste estudo referiu-se apenas a uma época do ano (fevereiro de 2002), época da tomada das fotografias aéreas.

Como resultado do delineamento das classes, as figuras 23 (a, b) a 30 (a, b) mostram a resposta espectral dos alvos (classes) nas aerofotos (visão vertical) e nas fotos de campo (visão horizontal). O reflorestamento de eucaliptos só pode ser definido quando da visita de campo.

a) Vegetação Densa

Chave de fotointerpretação	
Cor/Tonalidade	Textura
Verde escuro	rugosa



(a) Vista terrestre



(b) Visão vertical

Figura 23: Identificação de vegetação densa em de fotografia obtida em visita de campo (a) e no mosaico de ortofotos (b), na área de estudo (dezembro de 2003, autoria de Alexandro G. Schäfer).

b) Vegetação Rala

Chave de fotointerpretação	
Cor/Tonalidade	Textura
Verde médio	rugosa



(a) Vista terrestre



(b) Visão vertical

Figura 24: Identificação de vegetação rala em fotografia obtida na visita de campo (a) e no mosaico de ortofotos (b), na área central da área de estudo (dezembro de 2003, autoria de Alexandro G. Schäfer).

c) Reflorestamento de eucalipto

Chave de fotointerpretação	
Cor/Tonalidade	Textura
Verde escuro	aveludada



(a) Vista terrestre



(b) Visão vertical

Figura 25: Identificação do reflorestamento de eucaliptos em fotografia obtida na visita de campo (a) e no mosaico de ortofotos (b), na área de estudo (dezembro de 2003, autoria de Alexandro G. Schäfer).

d) Reflorestamento de pinus

Chave de fotointerpretação	
Cor/Tonalidade	Textura
Verde escuro	aveludada



(a) Vista terrestre



(b) Visão vertical

Figura 26: Identificação do reflorestamento de pinus em fotografia obtida na visita de campo (a) e no mosaico de ortofotos (b), na área de estudo (dezembro de 2003, autoria de Alexandro G. Schäfer).

e) Pastagem

Chave de fotointerpretação	
Cor/Tonalidade	Textura
Verde claro	mosqueda



(a) Vista terrestre



(b) Visão vertical

Figura 27: Identificação de pastagem em fotografia obtida na visita de campo (a) e no mosaico de ortofotos (b), na área de estudo (dezembro de 2003, autoria de Alexandro G. Schäfer).

f) Solo exposto

Chave de fotointerpretação	
Cor/Tonalidade	Textura
Creme/ marrom claro	lisa



(a) Vista terrestre



(b) Visão vertical

Figura 28: Identificação de solo exposto em fotografia obtida na visita de campo (a) e no mosaico de ortofotos (b), na área de estudo (dezembro de 2003, autoria de Alexandro G. Schäfer).

g) Rio

Chave de fotointerpretação	
Cor/Tonalidade	Textura
Verde escuro	lisa



(b) Visão vertical



(a) Vista terrestre

Figura 29: Identificação do rio Braço Serafim em fotografia obtida na visita de campo (a) e no mosaico de ortofotos (b), na área de estudo (dezembro de 2003, autoria de Alexandro G. Schäfer).

h) Área edificada



(a) Vista terrestre



(b) Visão vertical

Figura 30: Identificação de construção residencial com mais de cem anos em fotografia obtida na visita de campo (a) e no mosaico de ortofotos (b), na área de estudo (dezembro de 2003, autoria de Alexandro G. Schäfer).

**USO ATUAL DA TERRA
NA ÁREA DE INFLUÊNCIA
DIRETA DE IMPACTOS
AMBIENTAIS DE TRECHO
DA RODOVIA SC-414:
Município de Luis Alves - SC.**

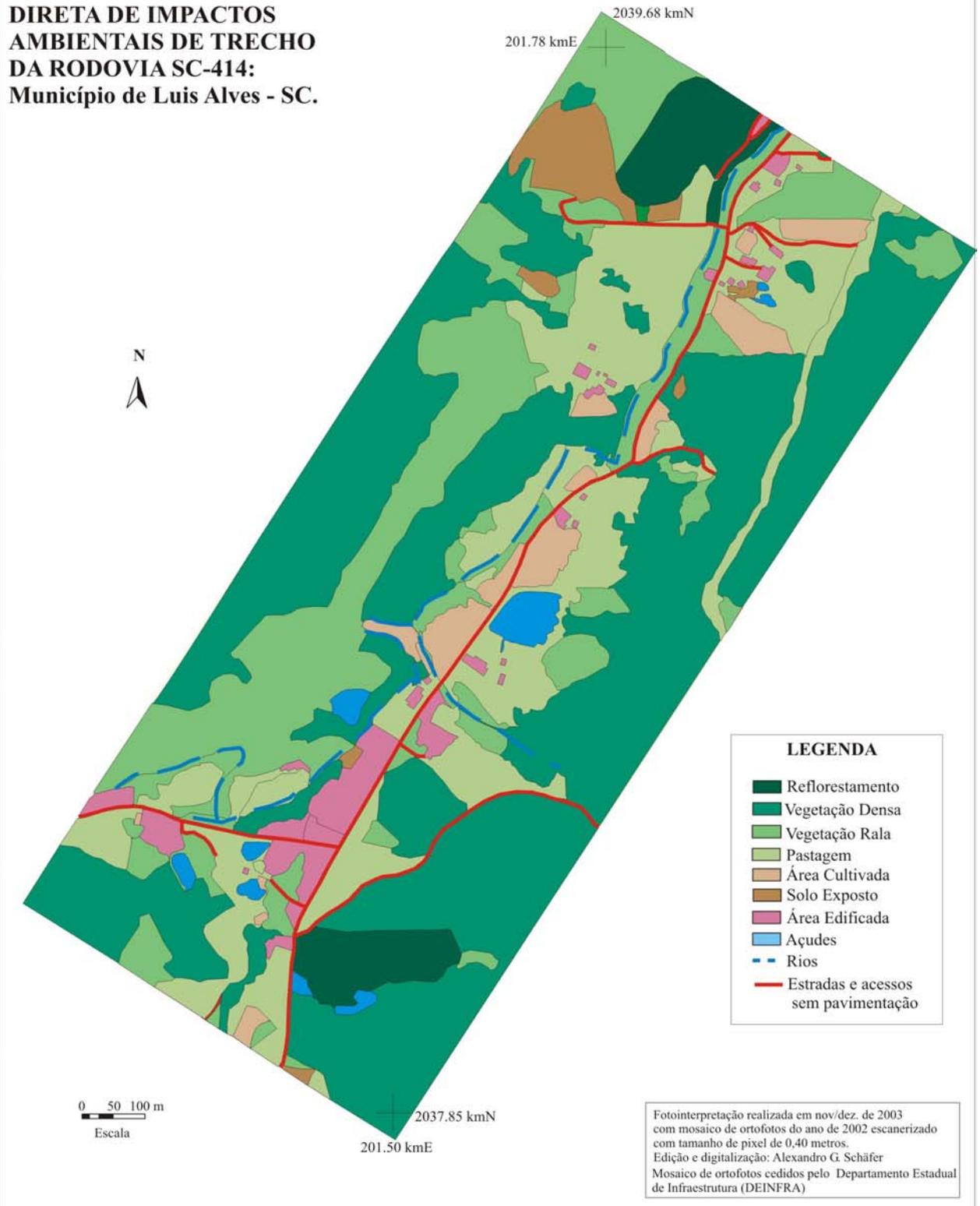


Figura 31: Mapa de Uso Atual da Terra

4.4 GERAÇÃO DE MDT E MDE DA ÁREA DE ESTUDO

Os Modelos Digitais do Terreno foram gerados no software ArcView GIS e comparados visualmente.

O modelo da figura 32, onde um TIN foi gerado a partir de curvas de nível com espaçamento de 5 m obtido por restituição deixou a desejar com relação à plasticidade, mas apresenta breaklines naturais (como os cursos d'água) bem definidas.

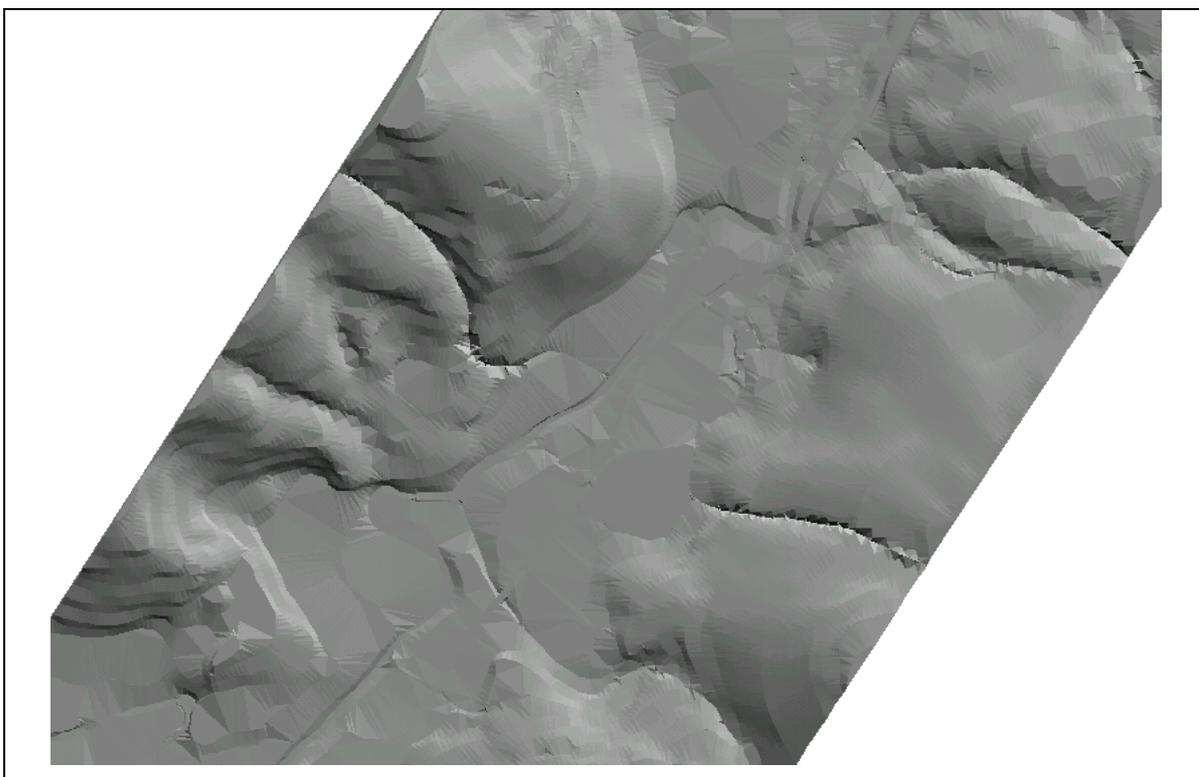


Figura 32 – Parte do MDT gerado a partir da restituição fotogramétrica

A figura 33 ilustra parte de um MDT obtido na mesma área da figura 32 a partir de pontos derivados do laserscanner. Devido a alta densidade de pontos dos sistemas comerciais disponíveis atualmente, apresenta como uma de suas principais características a alta plasticidade. Por outro lado, apresenta depressões artificiais (devido a pontos filtrados e/ou classificados erroneamente pelos algoritmos como superfície terrestre) e “breaklines” naturais não aparecem.

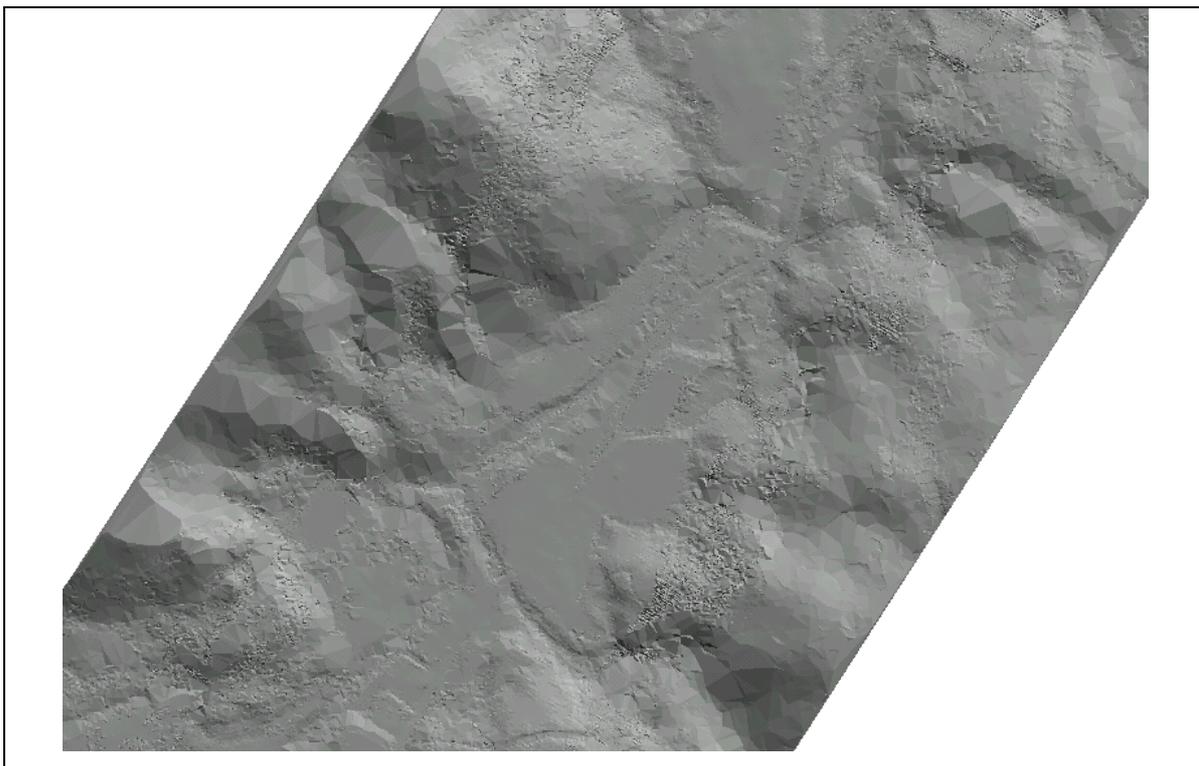


Figura 33 – Parte do MDT gerado a partir dos pontos Laser Scanner.

O MDT gerado a partir da combinação dos pontos derivados do Laser Scanner e elementos da restituição fotogramétrica (figura 34) teve por objetivo agregar as características dos dois modelos produzidos anteriormente: a alta plasticidade e densidade do MDT obtido a partir dos pontos Laser Scanner e a qualidade morfológica do MDT obtido através da restituição fotogramétrica. A figura 34 mostra o resultado da combinação de dados provenientes destes produtos. As áreas nas bordas do MDT não devem ser consideradas, pois apresentam erros inerentes à construção da estrutura TIN. Para evitar isto, deve-se sempre recortar uma área maior do que a que será analisada e realizar o corte após a construção da estrutura TIN. O Modelo Digital do Terreno gerado a partir da combinação dos pontos derivados do Laser Scanner e elementos da restituição fotogramétrica foi escolhido para ser utilizado nas etapas posteriores do estudo.

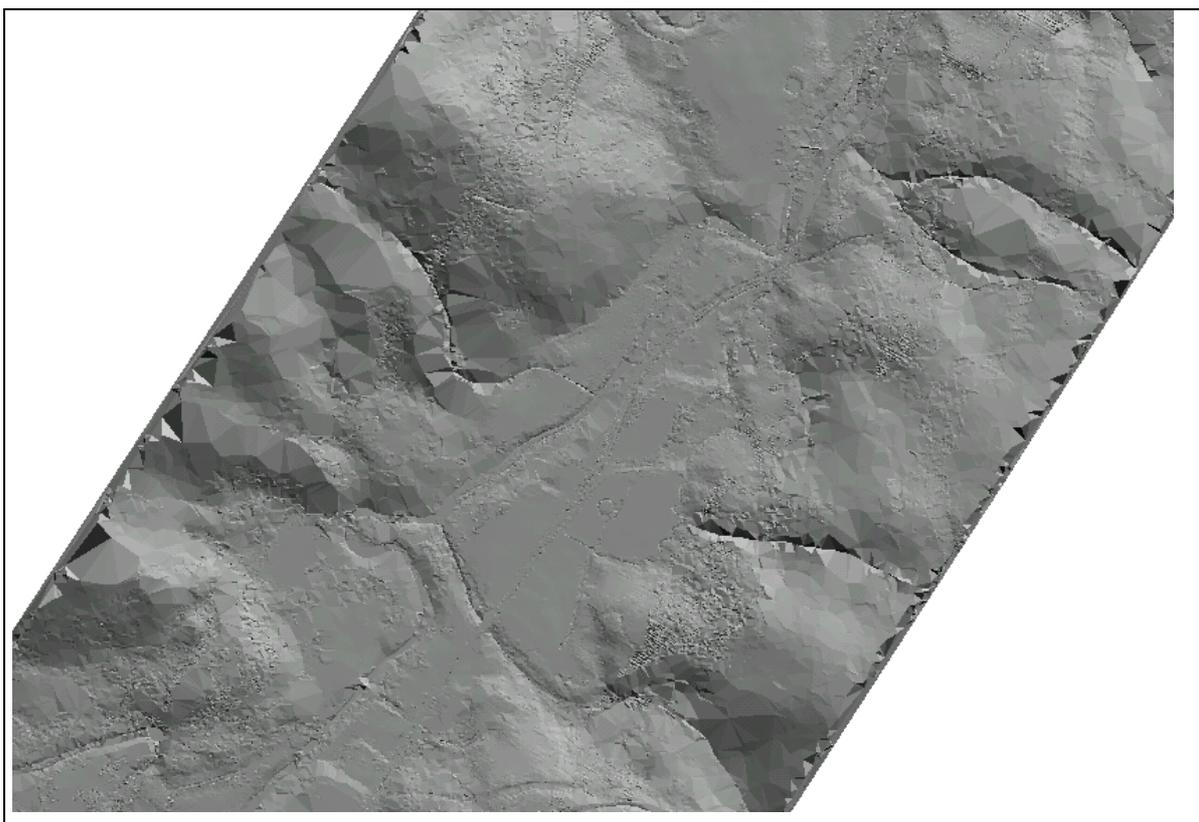


Figura 34 – Parte do MDT gerado a partir dos pontos Laserscanner com adição de breaklines provenientes da restituição fotogramétrica.

Medindo-se a quantidade média de pontos que tocam a superfície terrestre (tabela 4), constatou-se que o MDT obtido a partir dos pontos Laserscanner não apresenta qualidade uniforme em toda sua extensão. Em áreas de coberturas fechadas (por exemplo, em capoeiras), a quantidade de pontos que conseguem tocar a superfície terrestre é consideravelmente menor do que a quantidade de pontos que tocam a superfície terrestre em áreas de solo exposto, o que evidencia a não uniformidade da qualidade do MDT.

Cobertura do solo	Quantidade de pontos por m²
Vegetação Densa	0,021 a 0,099
Reflorestamento	0,056 a 0,192
Pastagem	0,35 a 0,41
Solo Exposto	0,359 a 0,50

TABELA 4 – Quantidade média de pontos Laserscanner MDT/m²

COMPARAÇÃO ENTRE MEDIDAS DE COTA OBTIDAS COM O SENSOR LASER SCANNER E POR FOTOGRAMETRIA

Com o objetivo de fazer uma comparação entre as medidas de cota dos pontos Laser Scanner da superfície terrestre e as curvas de nível provenientes na restituição fotogramétrica, foram medidas as cotas em diversos locais na área de estudo. Procurou-se determinar pontos Laser Scanner localizados nas classes que compõe o mapa de uso do solo e exatamente por onde passavam as curvas de nível de 5 em 5m presentes na restituição para evitar interpolações de valores das curvas de nível. No programa ArcView, foram sobrepostos os temas “mosaico”, “restituição” e “pontos MDT Laser Scanner”. Com auxílio das ferramentas de “zoom” do programa determinou-se pontos o mais próximo possível das curvas de nível e com o auxílio de ferramenta do ArcView foram medidas as coordenadas X, Y, Z do ponto e sua distância até a curva de nível mais próxima (tabela 5). A menor diferença entre as medidas de cotas foi encontrada em solo exposto em área plana, 0,11 m. A maior foi encontrada nas áreas de reflorestamento em áreas com declive acentuado, 3,86 m. Devido a esta grande diferença encontrada nas áreas de reflorestamento, realizou-se cinco outras medições na área, permanecendo a diferença na casa dos 3 a 4 m.

Examinando a tabela 5, pode-se concluir que a precisão ou dos pontos laserscanner ou das curvas de nível da restituição ou de ambos não é uniforme ao longo da área de estudo, sendo necessárias medidas em campo com equipamentos topográficos convencionais para uma correta determinação desta precisão.

Cobertura do solo	Cota da curva de nível da restituição (m) (1)	Cota do ponto laserscanner (m) (2)	Diferença de cota (m) (1 – 2)	Distância do ponto obtido com o sensor laserscanner à linha de cota (m)
Solo exposto	145	144,75	0,25	0,04
Solo exposto (estrada pto2)	115	114,89	0,11	0,03
Vegetação Densa	135	136,04	- 1,04	0,03
Vegetação Rala	185	184,66	0,34	0,02
Reflorestamento	135	131,17	3,83	0,02

Tabela 5 – Comparação de medidas altimétricas provenientes dos pontos Laserscanner e curvas de nível da restituição fotogramétrica.

VISUALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL

A visualização do MDT e do MDE como superfícies em três dimensões (figura 35) teve a finalidade de obter-se uma percepção geral da estrutura da área de estudo. Ela pode demonstrar relações espaciais, além de oferecer a possibilidade de ilustrar grande quantidade de informações para o planejamento de projetos rodoviários.

A vista perspectiva é derivada de um TIN, o que traz a vantagem de possibilitar a inclusão automática de “breaklines”, pois seus segmentos são sempre bordas dos triângulos que compõe o TIN. O centro da perspectiva e a direção da projeção podem ser especificados pelo usuário, permitindo a ele visualização do local em estudo de diferentes pontos de vista.

Os dados de entrada para a visualização 3D da área de estudo faziam parte do Modelo Digital do Terreno (MDT), que definiu a forma geométrica da superfície da terra na área de estudo. Ao MDE foi adicionado o mosaico de ortofotos com o intuito de se obter uma representação mais realista da área de estudo.

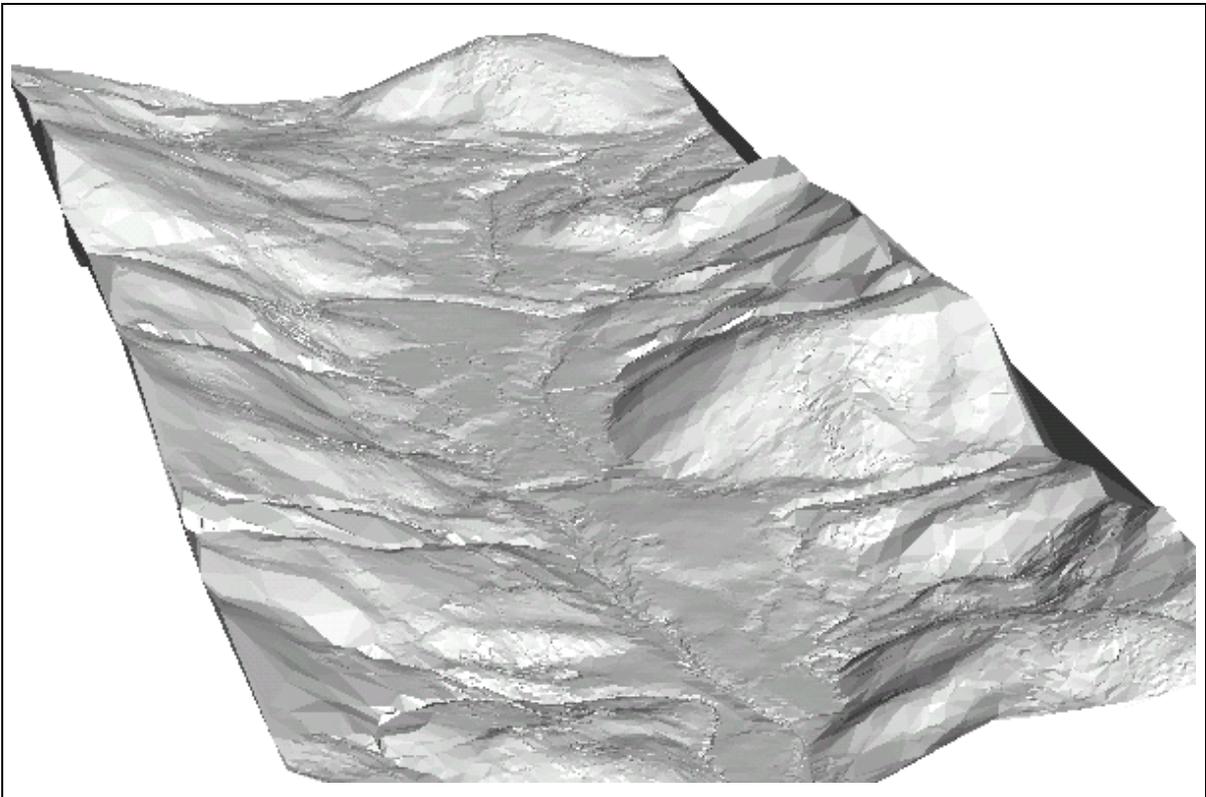


Figura 35 – Visualização 3D do MDT da fig. 34.

A visualização tridimensional do MDE obtido a partir dos pontos Laser Scanner e ao qual foi adicionado o mosaico de ortofotos (figuras 36) permitiu uma visualização das condições do local (por exemplo, vegetação e rede de drenagem) onde será implantada a rodovia.

Nesta etapa do estudo, enfrentaram-se problemas devido a alta exigência de poder computacional para se trabalhar com os produtos Laser Scanner, que apresentam arquivos com grande quantidade de pontos medidos no decorrer do vôo. A geração do MDT, com 143.470 pontos e do MDE, com 579.825 pontos em uma área de aproximadamente 1,02 km², por vezes tornou o sistema bastante lento, o que certamente poderia ter sido resolvido com o aumento na quantidade de memória RAM do computador, que era de 256 Mb. O mesmo problema ocorreu quando eram geradas visualizações 3D no programa ArcView. Para os diversos testes realizados com cenas 3D, a solução encontrada foi gerar no TerraScan arquivos MDT e MDE com menor quantidade de pontos obtidos por meio de filtros que permitem que se obtenha arquivos com número reduzido de pontos. O tamanho do arquivo do mosaico de ortofotos (40 Mb) também trouxe problemas computacionais quando da visualização 3D, principalmente quando da sua integração com os pontos laserscanner MDE. Em algumas situações o tempo para geração da visualização 3D foi superior a vinte minutos.



Figura 36 – Visualização 3D (combinação do MDE e mosaico de ortofotos).

4.5 CRIAÇÃO DE MDT E MDE COM A SIMULAÇÃO DA RODOVIA SC-414 NO AMBIENTE

A criação de MDT e MDE com a simulação da rodovia feita através da adição do projeto geométrico da rodovia na área de estudo (figuras 37 e 39, respectivamente) e posterior visualização 3D (figuras 38 e 40) constituiu-se em excelente base para estudar o efeito da rodovia no ambiente em que ela será inserida. Também pode servir como elemento de representação para consultas públicas quando da avaliação do empreendimento rodoviário pelo público em geral.

A simulação proporcionou a visualização dos locais onde devem ser realizados cortes e aterros. Adicionando ao MDE o mosaico de ortofotos (figura 41), têm-se um produto que proporciona a visualização das áreas atravessadas pela rodovia, permitindo verificar as áreas a serem desmatadas, a influência da rodovia em possíveis corredores de fauna e a situação da vegetação ao longo de cursos d'água a serem atravessados pela rodovia.

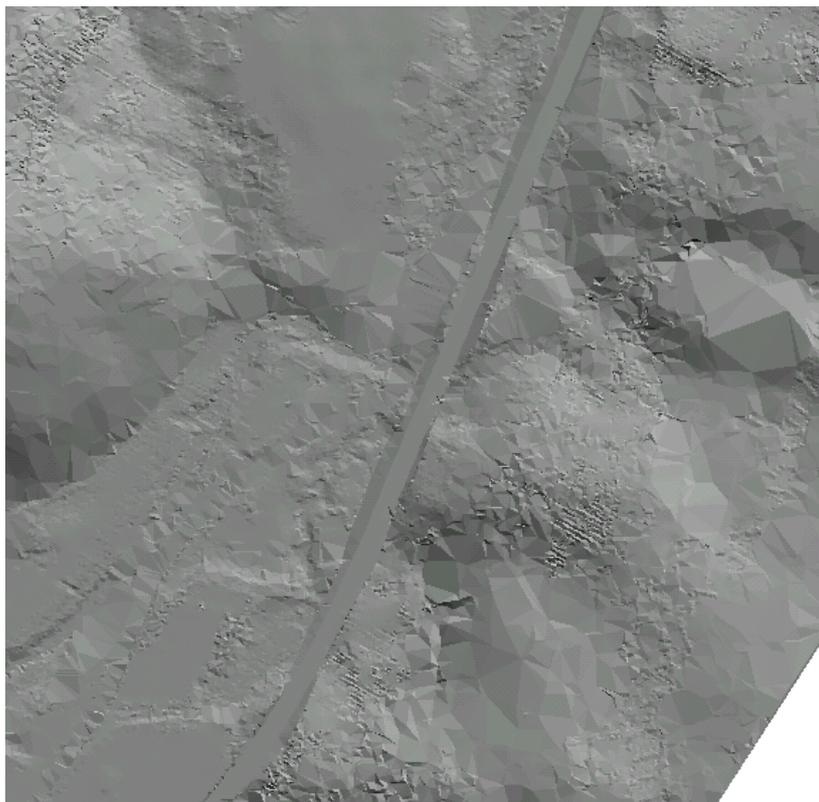


Figura 37 – Parte do MDT gerado a partir dos pontos Laser Scanner com adição de breaklines e dados do projeto geométrico da rodovia SC-414.

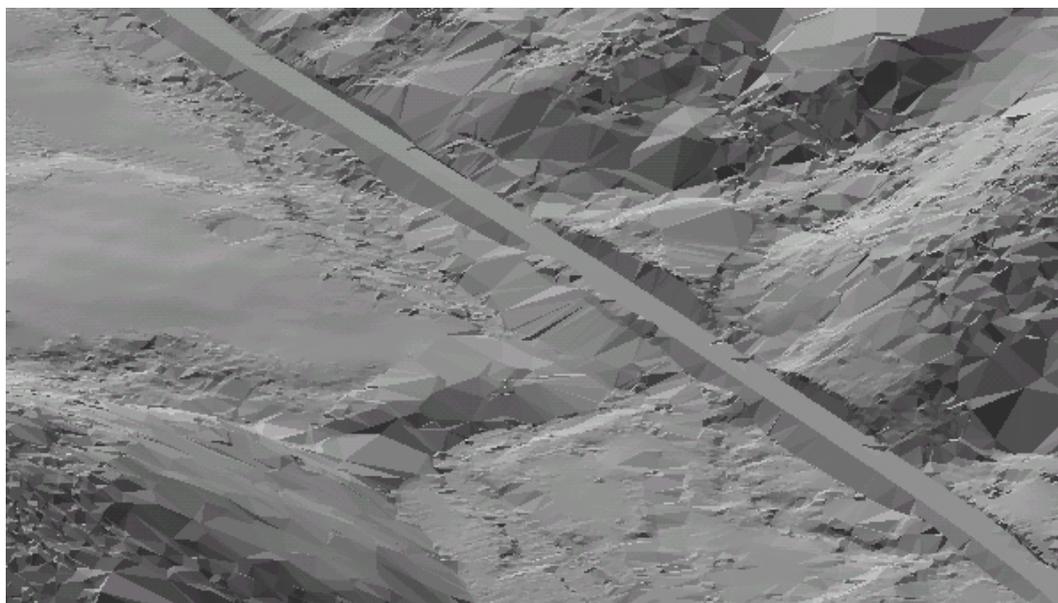


Figura 38 – Visualização 3D da figura 37 permitindo uma melhor visão da situação de cortes e aterros necessários à implantação da rodovia SC-414.

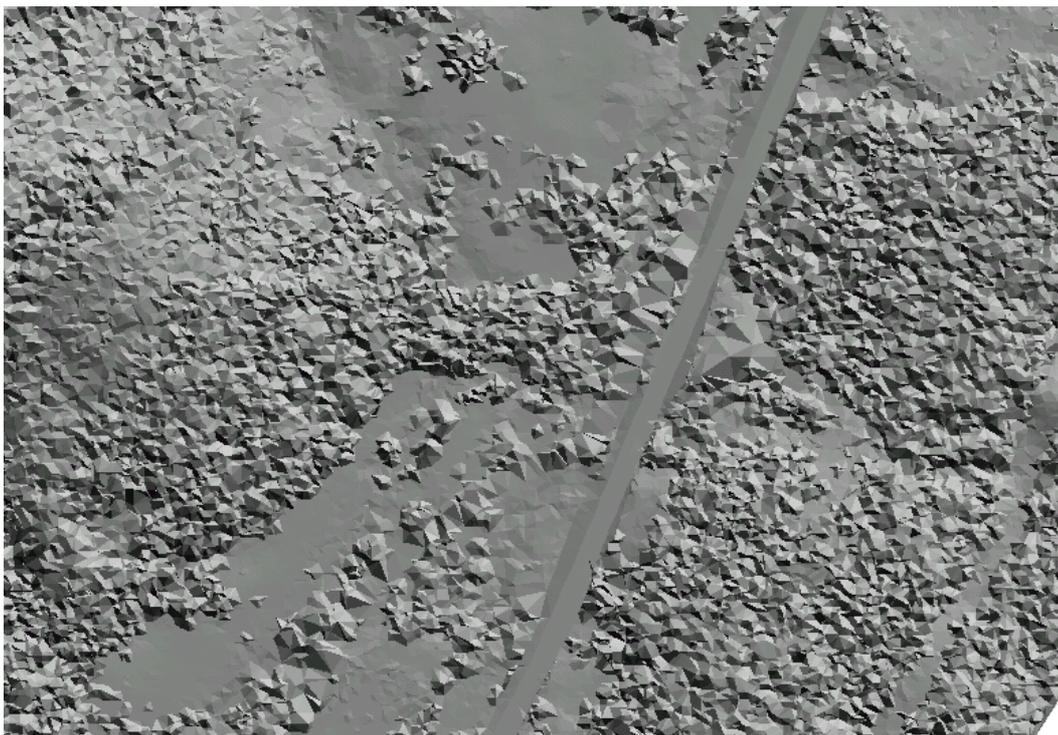


Fig. 39 – Parte do MDE gerado a partir dos pontos Laser Scanner com simulação da rodovia projetada, mostrando áreas com cobertura vegetal cortadas pela rodovia SC-414.



Figura 40 – Visualização 3D do MDE da figura 39 permitindo uma visão geral da rodovia que atravessará a área de estudo.



Fig. 41 – Visualização 3D da combinação do mosaico de ortofotos com o MDE obtido a partir dos pontos Laser Scanner e projeto geométrico da rodovia.

4.6 CARTAS DE DECLIVIDADE

A carta de declividade foi muito útil para auxiliar na análise do ambiente. Ela foi aplicada para auxiliar na definição de áreas de preservação permanente (APP), para definir áreas não propensas à urbanização sem restrições, para análise das propriedades rurais. Gerada a partir dos pontos Laser Scanner com adição de “breaklines”, possibilitou a análise detalhada da declividade na área de estudo, permitindo inclusive diferenciar terrenos planos daqueles mais acidentados.

A figura 42 mostra a carta de declividade criada com classes definidas de acordo com DE BIASE (1977). A figura 43 ilustra a carta de declividade criada com duas classes definidas levando-se em conta a lei 6766/79, que caracteriza as áreas aptas e não aptas para a urbanização sem restrições.

Com base na carta de declividade da área de estudo criada com classes definidas de acordo com DE BIASI (1977), observa-se um predomínio do intervalo de classe de 30 a 47% (tabela 6), aproximadamente 29,01% da área total. Nas cotas mais

baixas nos arredores do rio Braço Serafim, há um predomínio do intervalo de classe de 0 a 5% e 5 a 12%, aproximadamente 22,80% da área total.

Declividade	Área (m ²)	(%)
0 – 5	115948,2	10,36
5 – 12	139137,8	12,44
12 – 30	289870,5	25,91
30 – 47	324654,9	29,01
47 – 100	231896,4	20,73
> 100	17392,23	1,55
TOTAL	1118900,00	100,00

Tabela 6 – Quantificação da área de acordo com as classes de declividade

A análise da declividade é muito importante na avaliação de qualquer área onde se implantará um projeto de engenharia relacionado com a rede viária, ainda mais em uma área com predomínio de pequenas propriedade rurais como esta, onde a rodovia se torna muito importante para o escoamento da produção.

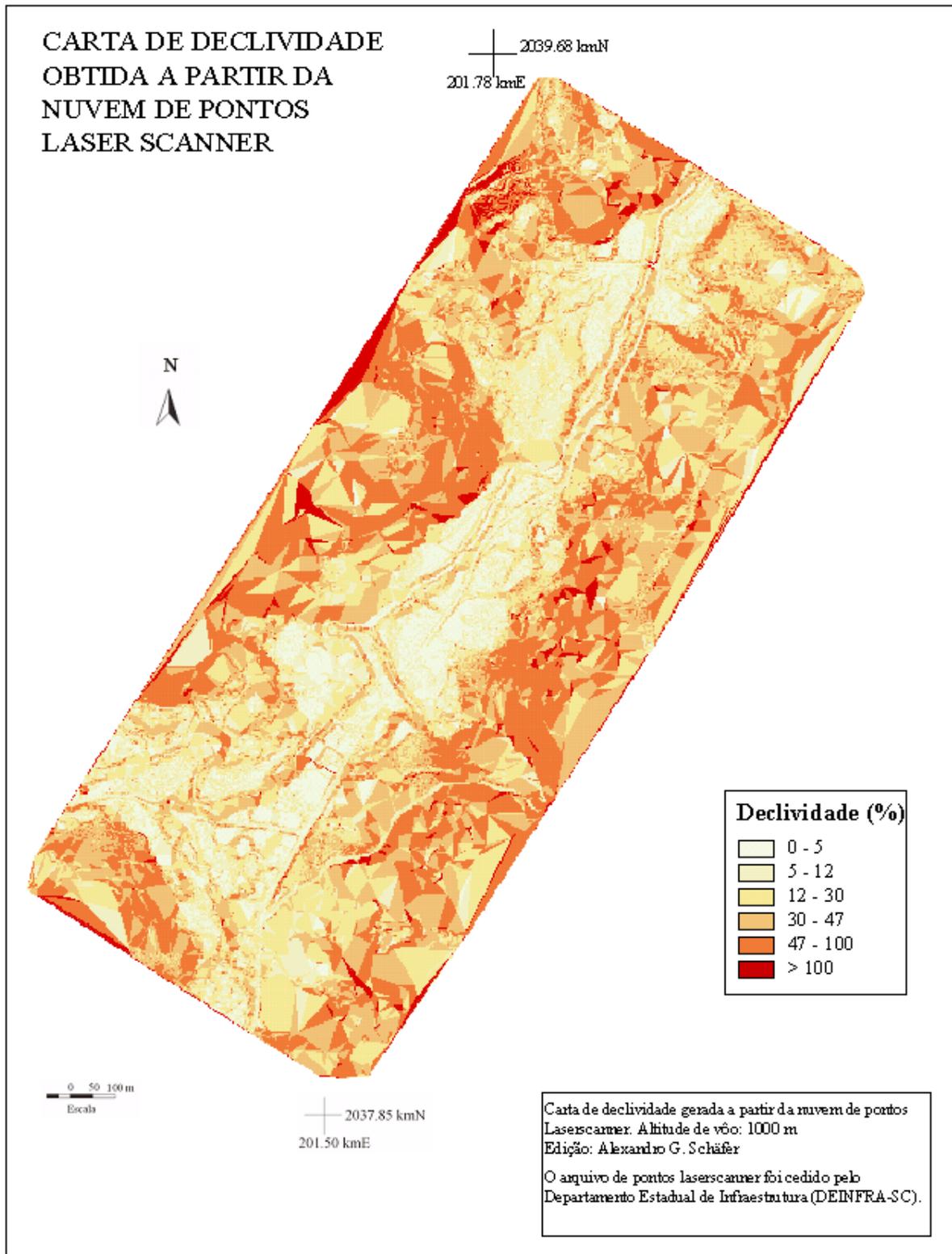


Figura 42 - Carta de declividade criada a partir dos pontos Laser Scanner

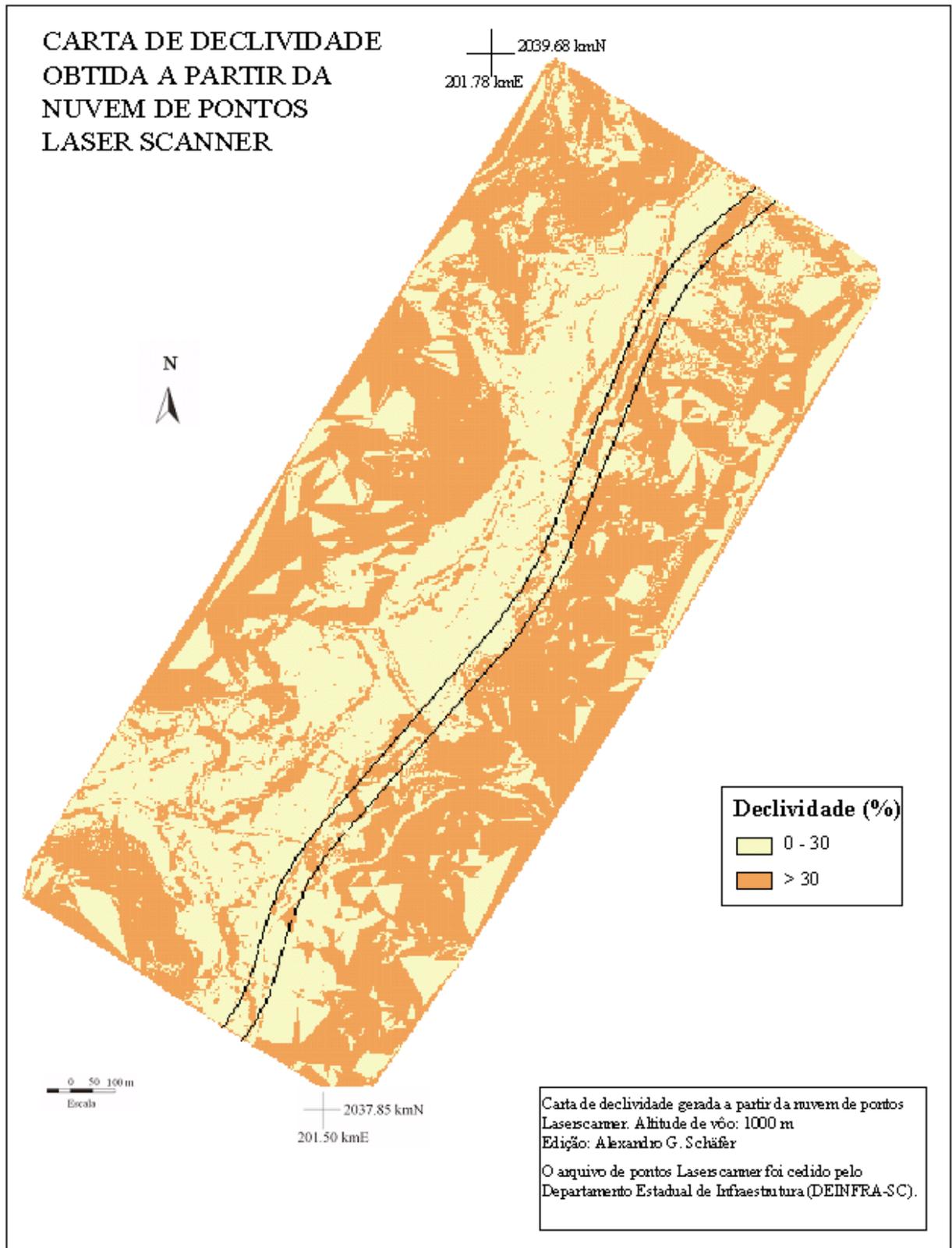


Figura 43 - Carta de declividade definindo áreas de acordo com o limite máximo para urbanização sem restrições de acordo com a lei 6766/79.

4.7 ANÁLISE TEMÁTICA DA FAIXA DE DOMÍNIO E DE PROPRIEDADES RURAIS

4.7.1 ANÁLISE TEMÁTICA DA FAIXA DE DOMÍNIO

A análise temática da faixa de domínio da rodovia na área de estudo foi realizada seguindo recomendações contidas em DER/SC (1998) sobre os temas solos, água e recursos naturais. Procurou-se localizar e quantificar áreas frágeis do ponto de vista ambiental.

RELEVO

O DER/SC (1998) recomenda localizar os setores onde, considerando a inclinação, existam riscos de erosão. Terrenos frágeis ou de relevo acidentado são mais propensos a erosão e necessitam de obras de arte especiais. Os processos erosivos podem, direta ou indiretamente, provocar a degradação dos solos ou do ecossistema local. O relevo pode ser facilmente analisado com os produtos do sensor laser scanner, que forneceram dados para confecção de cartas de declividade em escala grande.

Analisando a carta de declividade (figura 42), pode-se afirmar que do lado direito da rodovia (sentido estaca inicial-estaca final), predominam terrenos com declividade baixa (0 a 12%), enquanto que do lado esquerdo a predominância é de terrenos com declividade mais acentuada (30 a 47%). No local exato onde a rodovia será construída, predomina a classe de declividade de 12 a 30%. Através da análise da carta de declividade pode-se concluir que não existem áreas de proteção permanente (APP) devido ao relevo (declividade acima de 45° de acordo com o código florestal) no interior da faixa de domínio da rodovia.

Com base na análise da carta de declividade da figura 43, pode-se afirmar que este trecho da rodovia é suscetível a problemas quando levado em conta a possibilidade de ocupação desordenada da faixa de domínio.

Na tabela 7 tem-se uma quantificação da faixa de domínio quanto à aptidão para urbanização mostrando que 50,48% da área não está apta à urbanização devido à declividade do terreno, enquanto que 49,16% é considerada apta à urbanização. De

um lado da rodovia (nas áreas mais planas) tem-se o rio braço Serafim bem próximo ou no interior da faixa de domínio. Do outro lado da rodovia predomina a classe de declividade maior que 30%, o que caracteriza áreas não aptas a urbanização sem restrições devido a declividade (BRASIL, 1979).

Declividade (%)	área (m ²)	(%)
0 - 30	32052,45	49,16
> 30	33141,63	50,84

Tabela 7 – Quantificação das áreas na faixa de domínio aptas e não aptas para urbanização sem restrições de acordo com a lei 6766/79.

A questão da ocupação desordenada torna-se ainda mais preocupante quando são analisadas as áreas lindeiras à rodovia, onde existe uma quantidade considerável de áreas com classe de declividade entre 30% e 47%.

RECURSOS NATURAIS

Quanto aos recursos naturais, os impactos sobre a flora incluem, entre outros: destruição da cobertura vegetal no eixo viário e substituição da vegetação original por outras de características diversas para a cobertura de taludes e paisagismo. O conhecimento do uso do solo na faixa de domínio auxilia na localização e quantificação das áreas afetadas quando da implantação da rodovia.

De acordo com a tabela 8, a maior parte da cobertura vegetal da área (69%) é composta por pastagem, enquanto que a vegetação densa representa 14,78% e a vegetação rala em estágio de regeneração, 6,44%.

TIPO	ÁREA (m ²)	(%)
Cultivo	1401,25	2,15
Pastagem	44990,99	69,00
Reflorestamento	4104,27	6,30
Solo exposto	866,44	1,33
Vegetação Rala	4198,21	6,44
Vegetação Densa	9632,92	14,78

Total	65214,08	100,00
-------	----------	--------

Tabela 8 - Quantificação da cobertura vegetal no interior da faixa de domínio da rodovia na área de estudo.

Através da sobreposição do mapa de uso do solo e carta de declividade, observa-se que no interior da faixa de domínio aproximadamente 1000 m² de vegetação densa estão em áreas com declividade superior a 25°. De acordo com BRASIL (1965), é proibido o corte raso destas áreas.

No caso dos cursos d'água atravessados pela rodovia, no primeiro observou-se a existência de aproximadamente 600 m² de mata ciliar, caracterizando área de preservação permanente (BRASIL, 1965) e classificado (CONAMA, 1985), como reserva ecológica.

Para um segundo curso d'água a ser atravessado pela rodovia, através da análise do mosaico de ortofotos de março de 2002 e arquivos de pontos Laser Scanner MDE constatou-se a presença de cobertura vegetal. Na visita de campo, pode-se constatar (figura 46) que esta vegetação foi eliminada, sendo substituída por pastagem.



Figura 44 – Foto de dezembro de 2003 de curso d'água a ser atravessado pela rodovia SC-414.

A fauna pode ser afetada por vários motivos, mas principalmente em consequência do desmatamento e da interrupção de vias de circulação de animais

(DER/SC, 1998). Com o produto gerado pela integração do MDE e mosaico de ortofotos visualizado em 3D (figura 44), pode-se visualizar claramente o efeito da passagem da rodovia em uma área de vegetação densa, possibilitando a determinação de possíveis vias de circulação de animais.



Figura 45 – Visualização 3D obtida da integração dos pontos Laser Scanner MDE e mosaico de ortofotos.

RECURSOS HÍDRICOS

A rodovia, tanto quanto qualquer outra infra-estrutura linear, interfere sobremaneira no comportamento geral dos recursos hídricos de uma dada região, e embora não possam ser considerados usuários comuns deste recurso natural, as rodovias comportam-se como agente de transformações e acrescentam riscos à qualidade da água dos cursos d'água que atravessa, tanto pelo escoamento dos resíduos depositados sobre o pavimento, ou oriundos de sua própria decomposição, como pelo risco potencial de descarga de poluentes, decorrente de acidentes com cargas de produtos perigosos. Também os processos erosivos nas fases de obra e de operação são responsáveis por impactos negativos sobre os recursos hídricos (DER/SC, 1998).

A visualização 3D da sobreposição do MDT e dos rios e cursos d'água pode vir a ser uma excelente ferramenta para auxiliar na localização e visualização de locais

suscetíveis à problemas ambientais considerando-se o tema água. Na figura 45, pode-se verificar em alguns trechos a excessiva proximidade da rodovia ao rio Braço Serafim.



Figura 46 – Cruzamento do projeto geométrico da rodovia SC-414 com o MDT e recursos hídricos.

4.7.2 ANÁLISE DE PROPRIEDADES RURAIS: EXEMPLO

Um dos problemas mais graves do país é a falta de conhecimento com relação à propriedade individualizada de suas terras, de suas riquezas correspondentes e do processo social e econômico do seu uso e ocupação.

Para BLACHUT (1974), é muito difícil progredir economicamente sem o conhecimento rigoroso dos fatores que envolvem o uso da terra, a propriedade, as condições do homem na terra e sua atividade e o ambiente em si.

O INCRA (1974) apud LOCH (1990), quando analisa o projeto sagarana-MG, afirma que um loteamento de terras agrícolas deverá levar em consideração em cada lote, a capacidade de uso da terra, as conveniências de acesso e locomoção no interior da área e a disponibilidade de água. Para assentar uma família na área deve-se

orienta-la quanto às condições climáticas, tipo de solo, reserva florestal mínima, tipos de exploração mais convenientes, além de garantir uma orientação técnica contínua.

O mapeamento realizado para o estudo rodoviário pode e deve contribuir para o conhecimento de propriedades rurais e a melhoria da qualidade de vida de seus ocupantes.

Analisar-se-á a seguir parte de uma propriedade rural onde foi realizado o cadastro técnico para o projeto rodoviário (figura 47). Esta análise pode ser realizada para qualquer uma das propriedades atingidas pela rodovia. Convém salientar que as propriedades na área de estudo são, na maior parte, pequenas propriedades (10 a 50 ha).

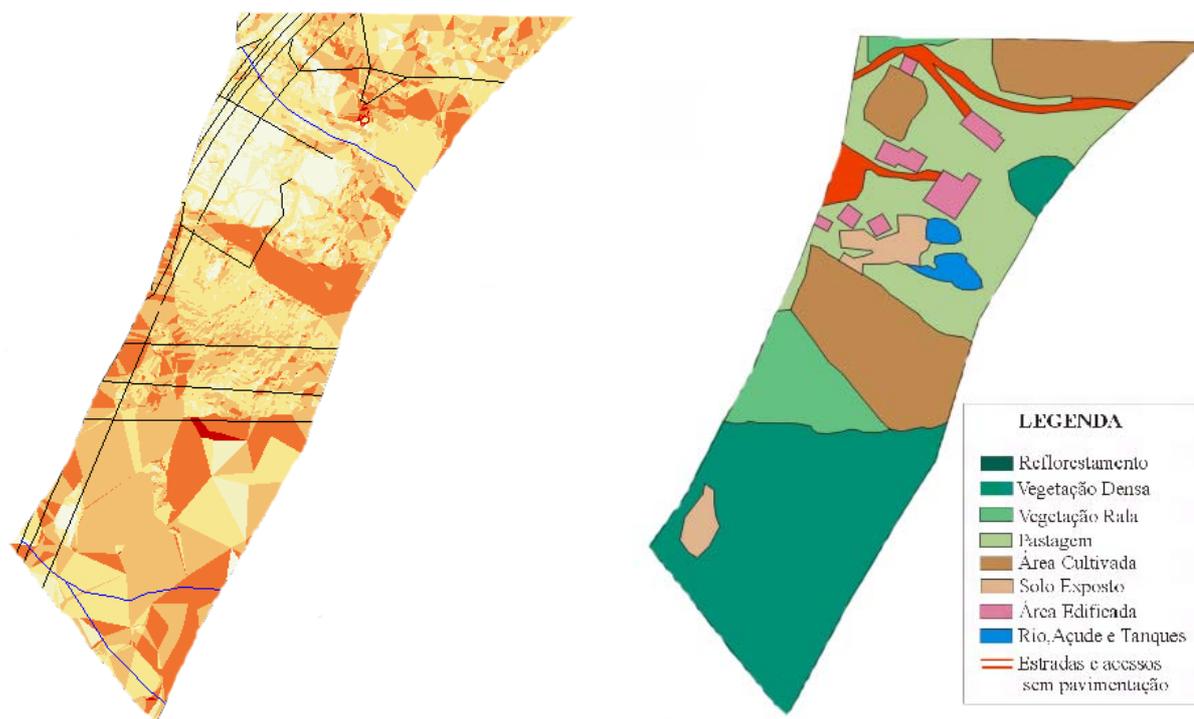
A área total da propriedade mapeada para o cadastro técnico foi de 43696,16m². Deste montante, aproximadamente 7180m² estão localizados no interior da faixa de domínio da rodovia a ser implantada.

RELEVO

De acordo com a tabela 9, pode-se observar que as classes de declividade predominantes estão entre 12 a 30% e 30 a 47%, que somam 63,88% da área total da propriedade. Não existem áreas de preservação permanente de acordo com a declividade (>45°).

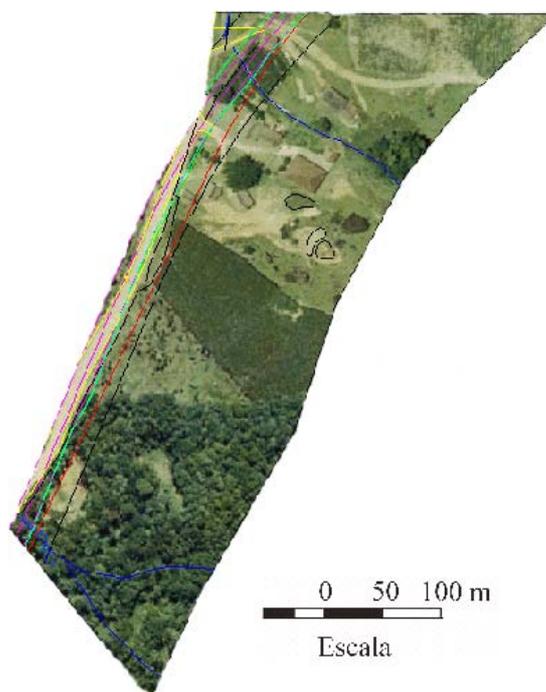
Declividade	área	(%)
0 – 5	3420,7	7,83
5 – 12	3625,56	8,30
12 – 30	14415,71	32,98
30 – 47	13500,59	30,90
47 – 100	8733,6	19,99
> 100	0	0,00
total	43696,16	100,00

Tabela 9 – Quantificação da propriedade por classe de declividade



(a) Declividade na propriedade

(b) Uso do solo na propriedade



(c) propriedade recortada do mosaico de ortofotos. A rodovia SC-414 passará à esquerda da propriedade rural.

Figura 47 – Visão vertical, uso do solo e declividade da propriedade rural.

Na tabela 10 tem-se uma quantificação da propriedade rural quanto à aptidão para urbanização de acordo com BRASIL (1979) mostrando que 60,96% da área não está apta à urbanização devido à declividade do terreno, enquanto que 39,04% é considerada apta à urbanização.

Declividade	área	(%)
0 – 30	17060,59	39,04
> 30	26635,57	60,96

Tabela 10 – Quantificação da propriedade quanto à aptidão para urbanização

RECURSOS NATURAIS

A tabela 11 apresenta as classes de uso do solo presentes na propriedade e a área ocupada por cada uma. A classe predominante é vegetação densa, que ocupa 40,23% da área total, seguida por pastagem e cultivo.

Classe	área	(%)
Cultivo	9327,3	21,35
Pastagem	11878,48	27,18
Solo exposto	4306,58	9,86
Vegetação	17579,48	40,23
Área edificada	604,32	1,38

Tabela 11 – Quantificação da cobertura vegetal na propriedade rural analisada.

Através da sobreposição do mapa de uso do solo e carta de declividade, observa-se que na propriedade rural 32,47% das áreas ocupadas por vegetação densa apresentam declividade superior à 25°, onde, de acordo com BRASIL (1965), é proibido o corte raso da vegetação.

As áreas de cultivo constituem-se de plantações de cana-de-açúcar. Nestas áreas, a declividade varia de 12 a 47%, indicando uma condição topográfica com relevo bastante heterogêneo e pouco apropriado ao plantio de culturas anuais. Além disso, essa declividade está acima do limite máximo para utilização de mecanização na agricultura.

Esta propriedade praticamente não será afetada pela passagem da rodovia, já que neste local o traçado praticamente coincide com o da estrada existente atualmente. Como se trata de uma propriedade na qual é produzida e comercializada aguardente de cana, a construção da rodovia certamente beneficiará os proprietários.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES

5.1.1 QUANTO AO MOSAICO DE ORTOFOTOS

A resolução espacial do mosaico de ortofotos (tamanho de pixel correspondendo a 0,40m no terreno), possibilitou a identificação de benfeitorias como residências e galpões, além de auxiliar na identificação de elementos que influenciam na qualidade final do MDT como rios e pequenas barragens em açudes.

Os mapas temáticos derivados do mosaico de ortofotos forneceram informações detalhadas do uso da terra, sobretudo da cobertura vegetal. Essas informações são essenciais para a avaliação das condições ambientais de áreas a serem atravessadas por rodovias.

O mosaico de ortofotos forneceu informações sobre o terreno e a cobertura vegetal que não puderam ser extraídas dos produtos derivados do sensor Laser Scanner.

5.1.2 QUANTO À TECNOLOGIA LIDAR

O arquivo de pontos Laser Scanner, aliado à imagem de intensidade constituiu-se em excelente fonte de dados para elaboração do mapa de uso do solo. Em áreas com sombras no mosaico de ortofotos, sanou dúvidas devido à possibilidade de obtenção de medidas de altura dos objetos com relação ao chão de forma simples, direta e sem o uso de qualquer equipamento complementar. Além disso, possibilitou a atualização de informações com relação ao uso e ocupação do solo contidas no mosaico de ortofotos (realizado seis meses antes do mapeamento LIDAR)

Pode-se constatar que quanto mais fechada é a cobertura vegetal, menor é a taxa de penetração dos pulsos do sensor Laser Scanner que atravessam a cobertura e tocam o chão. Assim, a maior densidade de pulsos emitidos que retornaram ao sensor se deu em locais sem nenhum tipo de cobertura vegetal, como nas estradas. A menor densidade se deu nos locais com presença de vegetação densa. A dificuldade dos feixes LASER em penetrar coberturas fechadas, juntamente com a dificuldade do sensor Laser Scanner em definir *breaklines* naturais e artificiais do terreno influenciaram sobremaneira na qualidade final do MDT gerado a partir da nuvem de pontos LASER.

Os algoritmos de filtragem e classificação dos pontos LASER não foram suficientemente eficientes a ponto de apresentar resultados aceitáveis apenas através de classificação automática. A edição manual com auxílio de imagens (mosaico de ortofotos e imagem de intensidade LASER) foi essencial para aumentar a qualidade da filtragem e da classificação da nuvem de pontos LASER.

5.1.3 QUANTO A INTEGRAÇÃO DOS PRODUTOS DO SENSOR LASER SCANNER, MOSAICO DE ORTOFOTOS, CADASTRO TÉCNICO, RESTITUIÇÃO E ANTEPROJETO GEOMÉTRICO DA RODOVIA SC-414

Os dados obtidos pela integração das imagens do mosaico de ortofotos e do arquivo de pontos com coordenadas X, Y, Z do Laser Scanner, disponibilizados em meio digital, produziram informações temáticas espaciais relevantes para projetos de engenharia rodoviária em áreas rurais.

O produto gerado pela integração do MDE, mosaico de ortofotos e projeto geométrico da rodovia possibilitou uma visualização de alta qualidade do projeto rodoviário. Este produto pode ser utilizado como elemento de visualização tanto para apresentação do projeto ao cliente como para consultas públicas.

A possibilidade de “rotacionar” rapidamente o MDT ou MDE permite ao usuário visualizar o local de estudo de diferentes pontos de vista, sendo uma ferramenta de

grande utilidade para análises de impacto de obras rodoviárias no ambiente em que serão implantadas.

A necessidade de utilização dos dados em vários programas diferentes para a integração de informações trouxe problemas de conversão de arquivos. Perda de georreferenciamento e deterioração de dados no formato raster foram freqüentes no decorrer do estudo.

O mosaico de ortofotos, aliado às informações altimétricas fornecidas pelo sensor Laser Scanner e a base cadastral tem extraordinário valor na avaliação da faixa de domínio de uma rodovia a ser implantada, inclusive em nível de propriedade rural. Com estes produtos, tem-se a possibilidade de analisar a disposição dos imóveis perante as classes de declividade, observando como se encontra a estrutura fundiária e a possibilidade de melhorias de tal forma que amenize custos e as alterações paisagísticas no local de implantação da rodovia.

As informações obtidas pelo cruzamento e integração dos produtos fotogramétricos e do sensor Laser Scanner, associados a outros estudos como o geotécnico, solos, etc., poderia evoluir para um Cadastro Técnico Multifinalitário da faixa de domínio da rodovia. Levando-se em conta que ao longo de sua vida útil, a rodovia poderá sofrer manutenções, restaurações ou duplicação, um cadastro estruturado em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) desde as fases de implantação da rodovia é uma ferramenta de grande utilidade. Além de ser uma fonte de informações quando da tomada de decisões referentes à manutenção e uso da rodovia, pode servir de base para planos de manejo, ocupação e desenvolvimento local, possibilitando o controle e conservação não só da rodovia mas também do patrimônio natural.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Seria interessante a realização de mais estudos utilizando a tecnologia Laser Scanner no Brasil com o objetivo de avaliar até que ponto os produtos derivados do sensor podem ser utilizados para mapeamentos, visando sua aplicação em projetos rodoviários.

A realização de levantamentos com o sensor Laser Scanner em áreas com outros tipos de relevo e vegetação seria muito importante para obtenção de parâmetros que definiriam onde e como a tecnologia poderia ser melhor empregada. E o quanto ela seria realmente interessante com relação a custos.

O aluno quando for pesquisar novas tecnologias, mais conhecidas no exterior e com domínio praticamente exclusivo de empresas, deve ter em mente que levará um período de tempo considerável tanto para conseguir dados e para assimilá-los quanto para testar alternativas possíveis de serem utilizadas.

Deveriam ser incluídas no currículo dos cursos de Engenharia Civil disciplinas que tratassem dos assuntos Cartografia e Sensoriamento Remoto.

Existe a necessidade de pesquisas visando à evolução dos algoritmos para filtragem e classificação dos pontos Laser Scanner, assim como pesquisas tendo como objetivo a utilização das imagens de intensidade como elemento auxiliar nos processos de filtragem e classificação.

Para suprir a falta de imagens da maioria dos sensores Laser Scanner disponíveis no mercado, deveriam haver pesquisas buscando a utilização de imagens de satélite de alta resolução ou câmeras de pequeno formato, associadas aos produtos Laser Scanner.

Os órgãos de engenharia rodoviária federais e estaduais deveriam buscar parcerias com universidades visando estudo da aplicação de novas tecnologias em projetos de engenharia rodoviária.

É interessante que se crie no Brasil um grupo de pesquisa com ênfase em estudos que envolvam a tecnologia Laser Scanner, promovendo-se convênios com empresas e instituições detentoras da tecnologia no país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKERMANN, F. Airborne Laser Scanning – Present status and future expectations, **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. nº 54(2-3), pp. 64-67. 1999.

AMERICAM SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING. **Manual of Photogrammetry**. Fourth Edition. Virginia: Falls Church, 1980. pp. 01-173.

ANDERSON, P. S. **Fundamentos para fotointerpretação**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, 1982.

ANDRADE, J. B. de; **Fotogrametria**. Curitiba: Ed. SBEE. 1998.

AXELSSON, P. Processing of laser Scanner Data – Algorithms and Applications. **ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing** (54)2-3 pp. 138-147. july, 1999.

BALTSAVIAS, E. P. A comparision between Photogrammetry and Laser Scanning, **ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing**. nº 54(2-3), pp. 83-94. 1999.

BERG, R.; FERGUNSON, J. A practical evaluation of airborne laser mapping for higway engineering surveys. **ION GPS 2000 Proceedings**, Sept. 2000, Salt Lake City.

BERG, R.; FERGUNSON, J. Mapping Ontario's highways with LIDAR. **Gim International**, Canadá, v. 15, n. 11, p. 44 a 47, nov. 2001.

BLACHUT, T. J.;VILLASANA, J. A. **Cadastre: various functions characteristics techniques and the planning of land record system**. Canadá: National Research Council, 1974.

BRANDALIZE, A. A. Perfilamento a LASER: comparação com métodos fotogramétricos. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, XX, 2001. Porto Alegre. **Anais**. CD ROOM.

BRASIL. Lei Federal 4.771/65 (com alterações dadas pelas Leis n. 7803/89 e n. 7875/89). Institui o novo Código Florestal.

BRASIL. Lei Federal 6.766/79. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras providências.

CAETANO, N. R. **Utilização de Sensoriamento Remoto e de sistemas de informação geográfica na fase de planejamento do projeto de rodovias. estudo de caso: via Carvalho Pinto.** São José dos Campos, 2002. Dissertação (mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto de Pesquisas Espaciais. INPE.

CAMPBELL, J. B. **Introduction to remote sensing**, Guilford, Nova Iorque: 1996.

CAMPOS, I. de O.; SILVA, I. da. O estado da arte da modelagem digital de terrenos (DTM) e suas principais aplicações na engenharia. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, XVI, 1993. Rio de Janeiro. **Anais**. Volume 3.

CLÁUDIO, C. B.; KONO, E. B. A avaliação de impacto ambiental – AIA – e os instrumentos de licenciamento para empreendimentos rodoviários. In: RODO 2002 – 2º Simpósio sobre Obras Rodoviárias - 2002, São Paulo. **Anais**. P. 79-86.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Dispõe sobre as diretrizes gerais para uso e implementação de avaliação de impacto ambiental. Resolução nº 001, de 23 de julho de 1986. **Coletânea de Legislação Ambiental, Secretaria do Estado de Desenvolvimento Urbano**. Curitiba, 1990.

COWEN, D. J. et al. A gis-assisted rail construction econometric model that incorporates LIDAR data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. EUA, v.66, n. 11, p. 1323-1328, nov. 2000.

DALE, P. & MCLAUGHLIN, J. D. **Land information management. an introduction with special reference to cadastral problems in third world countries**. Nova Iorque: Oxford University Press, 1990.

DE BIASI, M. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia da USP**. n. 6, São Paulo, p. 45 – 61, 1977.

DER/SC. Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina. **Diretrizes ambientais para o setor dos transportes**. Florianópolis: DER/SC, 1993.

_____. Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina. **Manual de procedimentos ambientais**. 3º Encontro Ibero-Ambientais de Unidades Ambientais do Setor dos Transportes. Florianópolis: Governo do Estado de Santa Catarina, STO, DER/SC, ACE, 1998. 1 CD-ROM.

DER/PR; UFPR/FUPEF. **Manual de instruções ambientais para obras rodoviárias**. Curitiba: UFPR, 2000.

DIEFFY, P. J. B. The development and practice of EIA concepts in Canadá. Occasional paper 4: Ottawa – Environmental Canadá, 1975.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Engenharia Rodoviária. Divisão de Estudo e Projetos. Serviço de Estudos Rodoviários e Ambientais. **Corpo normativo ambiental para empreendimentos rodoviários**. Rio de Janeiro, 1996.

DOWMAN, I. J. **Fundamentals of digital photogrammetry**. IN: K. B. Atkinson (Edit.). **Close Range Photogrammetry and Machine Vision**. Scotland: Whittles Publishing. P. 52-77. 1996.

EVANS, D. I. et al. Detection of regularly spaced targets in small-footprint LIDAR data: Research Issues for Consideration. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.67, n. 10, p. 1133 – 1136, oct. 2001.

ESTADO DE SANTA CATARINA. Departamento de Infra-Estrutura. **Anteprojeto da fase de projeto final de engenharia da rodovia SC-414, trecho Luís Alves – Belchior – BR-470**. 2003.

FERGUNSON, C. R. Transportation applications of remote sensing information. **ASP 51st Anual Meeting**. Washington, D. C. 1985. pp 642-650

FISCHER, D. **Desenvolvimento sustentável em malhas rodoviárias: uma contribuição à análise do passivo ambiental**. Florianópolis, 2001. Dissertação (Mestrado em Infra-Estrutura e Gerência Viária). Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

FORNARASI FILHO, N. **Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1992.

FLOOD, M.; Gutelius, B. Commercial implications of topographic terrain mapping using scanning airborne laser radar. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. EUA, v. 63, n. 8, p. 908-914, 1997.

_____. Laser altimetry: from science to commercial LIDAR mapping. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. EUA, v. 67, n. 11, p. 1209-1218, nov. 2001.

_____. Product definitions and guidelines for use in specifying lidar deliverables. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. EUA, v.68, n. 12, p. 1230-1234, dez. 2002.

FRYER, J. G. Introduction. IN: K. B. Atkinson (Edit.). **Close Range Photogrammetry and Machine Vision**. Scotland: Whittles Publishing. P. 1-7. 1996.

GUTELIUS, Bill. Engineering applications of airborne scanning lasers: reports from the field. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. EUA, v.64, n. 04, p. 246-253, apr. 1998.

HILL, J. M. et al. Wide-Area topographic mapping and applications using Airborne Light Detection and Ranging (LIDAR) technology. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. EUA, v.68, n. 08, p. 908-914, aug. 2002.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Programação de aulas, <http://www.dpi.inpe.br/cursos/ser431/aulas.html>, DPI, Geoprocessamento, Cursos, Análise Espacial. acesso em setembro de 2002.

JESUS, R. M. Recuperação de áreas degradadas em sistemas rodoviários. In: Anais do 1º Seminário nacional: A Variável Ambiental em Obras Rodoviárias. **Anais**. FUPEF: Foz do Iguaçu, 1999.

JUCHEM, P. A. **Manual de avaliação de impactos ambientais – MAIA**. 2. ed. Curitiba: IAP/GTZ, 1992. v. 1.

KRAUS, K.; PFEIFER, N. Determination of terrain models in wooded areas with airborne laserscanner data. **ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing**. nº 53, Issue 4, pp. 193-203, august 1998.

LAMM, R. **Highway design and traffic safety engineering handbook**. McGraw-hill: EUA, 1999.

LEMMENS, M.; LOHANI, B. 2001. Geo-information from LIDAR. **Gim International**. Canadá, v. 15, n. 07, p. 30-33, july 2001.

LOCH, C. **Cadastro técnico multifinalitário rural e urbano**. Florianópolis, UFSC, Departamento de Engenharia Civil, 1989.

_____. **Monitoramento global integrado de propriedades rurais a nível municipal, utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto**. Ed. da UFSC: Florianópolis, 1990.

_____. **Cadastro técnico multifinalitário como base à organização espacial do uso da terra a nível de propriedade rural**. Tese para o concurso de professor Titular em Cadastro Técnico Multifinalitário, Florianópolis, UFSC, 1993.

_____ & LAPOLLI, E. M. **Elementos básicos da fotogrametria e sua utilização prática**. UFSC, Florianópolis, 1994.

LOCH, R. Ortofotocarta: produção e aplicações. In: XIII Congresso Brasileiro de Cartografia, Brasília, 1987. **Anais...**Brasília:

LOPES, J. A. U. & QUEIROZ, S. M. P. Rodovias e meio ambiente no Brasil: uma resenha crítica. In: Simpósio Sul Americano e II Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas. **Anais**. FUPEF: Curitiba, 1994.

LOPES, J. A. U. Estudos e Relatórios de Impacto Ambiental – aspectos práticos. In: RODO 2002 – 2º Simpósio sobre Obras Rodoviárias - 2002, São Paulo. **Anais**. P. 79-86.

LU, W. Digital terrain models. **Gim International**, Canadá, v. 15, n. 12, p. 28 a 31, dec. 2001.

MARQUES, M. M. A. et al. O licenciamento ambiental de empreendimentos rodoviários na secretaria de estado de meio ambiente – São Paulo. In: RODO 98 – 1º Simpósio sobre Obras Rodoviárias - 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo:

McCOMARCK, S. (2001). Agents of Change. **World Highways**. V. 10. n. 3. p 32-34.

MINTZER, O. Engineering applications. In: Robert Colwel. **Manual of Remote Sensing**. 2. EUA: 1983, v. 2, p. 1955-2101.

MONTEIRO FILHO, J. **Curso de estradas** – 1º e 2º partes. Rio de Janeiro: Escola Politécnica da Universidade do Rio de Janeiro, 1933.

_____. **Construção das estradas** - infraestrutura. 2. ed. Rio de Janeiro: Ed. Científica, 1941.

_____. **Projeto de estradas** – ferrovias e rodovias. 4. ed. Rio de Janeiro: Ed. Científica. 1953.

_____. **Projeto de estradas** – ferrovias e rodovias. 5. ed. Rio de Janeiro: Ed. Científica. 1961.

MORENO, J. A. T. O tratamento atual da gestão ambiental rodoviária no Brasil. In: Seminário de modernas técnicas rodoviárias, 2000, Florianópolis. **Relação de trabalhos**. 1 CD-ROM.

O'FLAHERTY, C. A. **Highway Planning**. Londres: Editora *Planta Tree*, 2002.

OEA – ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS. **Manual de procedimentos ambientais**. 3º Encontro Ibero-Americano de Unidades Ambientais do Setor dos Transportes. Florianópolis: Governo do Estado de Santa Catarina, STO, DER/SC, ACE, 1998. 1 CD-ROM.

PETRIE, G., KENNIE. T.J.M. **Terrain modelling in surveying and civil engineering**. Londres: Editora Whittles, 1990.

RABER, George et al. Creation of digital terrain models using an adaptive lidar vegetation point removal process. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. EUA, v.68, n. 12, p. 1307-1315, dec. 2002.

REISS, P. High-quality DTMs. **Gim International**, Canadá, v. 16, n. 11, p. 40-43, nov. 2002.

RUIZ, A. TIN Database Issues. **Gim International**, Canadá, v. 15, n. 02, p. 12-15, feb. 2001.

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

SHENONE, A. El Concepto del Cadastro. **Jalones de la agrimensura de entre rios**. Publicación del Colégio de Profesionales de la agrimensura de Entre Rios. Año 2, n. 5, nov. 1997.

SILVA, T. F. **Um conceito de cadastro metropolitano**. Curitiba, 1982. Dissertação. Universidade Federal do Paraná.

SEIFFERT, N. F. **Uma contribuição ao processo de otimização do uso dos recursos ambientais em microbacias hidrográficas**. Florianópolis, 1996. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas). Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

TEIXEIRA, S. G. Considerações ambientais no setor dos transportes. In: Seminário sobre Transporte e Meio Ambiente. Brasília. 1989. **Anais...** Brasília: Ministério dos Transportes. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes, 1990.

TELLES, P. C. da S. **História da engenharia no Brasil**. Rio de Janeiro: Clavero Editoração, 1993.

TOTH, C. K.; GREJNER-BRZEZINSKA, D. A. Complementarity of LIDAR and stereo imagery for enhanced surface extraction. In: **International Archive of Photogrammetry and Remote Sensing**. v. XXXIII, Part B3, 2000 Amsterdam.

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