

**USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA COMO SUBSÍDIO AO
PLANEJAMENTO EM ÁREAS AGRÍCOLAS: UM
CASO NO PLANALTO DO RIO GRANDE DO SUL**

Eliseu José Weber
Engenheiro Agrônomo

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO
E METEOROLOGIA - CEPSRM
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

**USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA COMO SUBSÍDIO
AO PLANEJAMENTO EM ÁREAS AGRÍCOLAS: UM CASO NO PLANALTO
DO RIO GRANDE DO SUL**

Eliseu José Weber
Eng. Agrônomo

Dissertação apresentada como um dos requisitos
à obtenção do Grau de
Mestre em Sensoriamento Remoto

Porto Alegre (RS), Brasil.
Dezembro de 1995

AGRADECIMENTOS

Ao professor Moacir A. Berlato, por ter me aceito como seu orientado no Curso de pós-graduação em Sensoriamento Remoto;

Ao professor Vitor Haertel, por ter aceitado a co-orientação e pelo apoio no sentido de concretizar o intercâmbio do CEPSRM com outras entidades;

Ao professor Atos Freitas Grawunder, coordenador do Curso de Pós-graduação em Economia Rural da UFRGS, pelo auxílio na estruturação da presente dissertação;

À Cooperativa Triticola Mista Alto Jacuí Ltda, pelo apoio de campo e atenção dedicada à execução do trabalho, muitas vezes deslocando técnicos importantes de suas funções para o levantamento das informações necessárias;

Ao professor Alfonso Risso que, através da troca de idéias e sugestões, contribuiu na montagem do projeto;

Ao Engenheiro Agrônomo Eduardo Juan Ruiz Posse, professor da Universidad Nacional de Córdoba, República Argentina, pela amizade e parceria na realização de tarefas e sugestões em assuntos relacionados à execução do trabalho;

Aos colegas do curso de mestrado que compartilharam dificuldades e confraternizaram em vários eventos, tornando mais agradável o período do curso;

Aos funcionários técnicos e administrativos do CEPSRM que, de uma ou outra forma, prestaram sua colaboração à solução dos problemas surgidos durante o curso e contribuíram para a conclusão deste estudo.

**USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA COMO SUBSÍDIO
AO PLANEJAMENTO EM ÁREAS AGRÍCOLAS: UM CASO NO PLANALTO
DO RIO GRANDE DO SUL^{/1}**

Autor: Eliseu José Weber
Orientador: Prof. Moacir A. Berlato
Co-orientador: Prof. Vitor Haertel

SINOPSE

Os Sistemas de Informação Geográfica vêm sendo cada vez mais utilizados em estudos envolvendo o planejamento e gerenciamento de recursos e meio-ambiente. A agricultura é uma das atividades humanas mais intimamente relacionadas com o meio-ambiente. Este trabalho investiga o emprego desses sistemas para integrar diferentes informações relacionadas à produção agrícola e obter respostas que subsidiem o planejamento em regiões agrícolas. A área estudada é uma localidade do município de Não-me-Toque, situado no planalto médio do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas 28°21' e 28°34'sul e 53°40'e 53°57'oeste. Os resultados evidenciaram as vantagens dos Sistemas de Informação Geográfica sobre os métodos convencionais de análise, especialmente no que se refere à velocidade, precisão e à associação dos dados de interesse à sua localização geográfica.

^{/1} Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Curso de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (80 p.). Dezembro de 1995.

**THE USE OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS AS A SUPPORT TO
PLANNING ACTIVITIES IN AGRICULTURAL AREAS: A CASE STUDY IN
RIO GRANDE DO SUL STATE, SOUTHERN BRAZIL.**

Author: Eliseu José Weber
Supervisors: Prof. Moacir A. Berlato
Prof. Vitor Haertel

ABSTRACT

Geographic information systems have been widely used in studies involving natural resources and environment planning and management. Agriculture is one of human activities that most relate to the environment. This work investigates the use of geographic information systems in order to integrate information related to crop production and support agricultural management activities. The study site area is located in Rio Grande do Sul State, Southern Brazil, within the "Planalto Médio" region in Não-me-Toque county (latitudes 28°21' to 28°34' South and longitudes 53°40'e 53°57' West). Results indicated the advantages of using geographic information systems when compared to the traditional methods, mainly due to time consuming, precision and the possibility of pointing data to its geographic position.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Sistemas de informação geográfica.....	4
2.1.1. Definição.....	4
2.1.2. Representação da informação espacial em um SIG.....	5
2.1.3. Histórico da evolução dos SIG.....	7
2.1.4. Componentes de um SIG.....	11
a) "Hardware".....	12
b) "Software".....	12
c) Contexto organizacional.....	15
2.1.5. Tendências de uso e de evolução técnica.....	16
2.2. Implementação de um SIG.....	20
2.2.1. Confecção da base de dados analisáveis.....	20
a) Digitalização.....	21
b) Importação de dados em forma digital.....	22
c) Preparação dos dados.....	22
2.2.2. Implementação das rotinas de análise.....	25
2.3. SIG para o planejamento na agricultura.....	28
2.3.1. Planejamento em microbacia hidrográfica.....	28
2.3.2. Monitoramento da ocupação agrícola.....	34
2.3.3. Avaliação de terras.....	38
2.3.4. Área fiscal: tributação.....	41
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
3.1. Materiais.....	44
3.2. Métodos.....	45

3.2.1. Localização e caracterização da área de estudo.....	45
3.2.2. Confeção da base de dados.....	50
a) Elaboração do mapa fundiário da área piloto.....	50
b) Entrada de dados gráficos no sistema.....	50
c) Montagem dos bancos de dados alfanuméricos.....	52
3.2.3. Manipulação dos mapas e bancos de dados.....	53
a) Estimativa da necessidade de calcáreo para correção do pH do solo.....	53
b) Diagnóstico da mata nativa	54
c) Identificação das áreas mais sujeitas à degradação do solo.....	54
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
4.1. Estimativa da necessidade de calcáreo para correção do pH do solo.....	56
4.2. Diagnóstico da mata nativa.....	61
4.3. Identificação das áreas mais sujeitas à degradação do solo.....	65
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	71
6. BIBLIOGRAFIA.....	73
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	x

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1. Produtores da área piloto com pH do solo inferior a 5,5 e quantidade de calcáreo necessária para correção da acidez, com base na recomendação de calagem para pH 6,5.....	59
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.Representação do mundo real em um SIG através de planos de informação.....	5
Figura 2.2.Estágios da evolução tecnológica dos sistemas de informação geográfica.....	9
Figura 2.3.Estágios evolutivos da integração de SIG e sistemas de processamento de imagens digitais.....	10
Figura 2.4.Principais componentes de "hardware" do SIG	13
Figura 2.5.Ambiente gerencial que envolve a operacionalização de um SIG	17
Figura 2.6.Diagrama de fluxo da operacionalização de um SIG	27
Figura 2.7.Fluxograma da estimativa de perdas de solo com SIG empregando a USLE....	33
Figura 3.1.Localização do município de Não-me-Toque no Rio Grande do Sul.....	46
Figura 3.2.Vista em perspectiva do modelo digital do terreno da área de estudo, representando o relevo da região.....	46
Figura 3.3.Temperaturas médias mensais de Cruz Alta (período 1931 a 1960).....	47
Figura 3.4.Precipitação média mensal (período 1931 a 1960) e evaporação mensal (período 1957 a 1984) de Cruz Alta.....	47
Figura 3.5.Localização da área piloto no município de Não-me- Toque.....	49
Figura 4.1.Mapa fundiário da área piloto obtido através de interpretação visual de duas imagens Landsat de anos e épocas diferentes.....	57
Figura 4.2.Propriedades rurais classificadas de acordo com a existência de análise química do solo e valores de pH do solo.....	60
Figura 4.3.Distribuição da mata nativa na área de estudo.....	63
Figura 4.4.Distribuição da mata nativa dentro dos imóveis rurais da área de estudo.....	64
Figura 4.5.Áreas sem problemas de conservação do solo, mantidas com cobertura vegetal permanente ou quase permanente.....	66
Figura 4.6.Mapa de declividades com as três classes consideradas para a recomendação de diferentes tipos de terraço.....	67

Figura 4.7. Áreas sem problemas de conservação do solo e áreas mal manejadas subdivididas nas três classes de declividade consideradas na recomendação de diferentes tipos de terraço.....68

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

- AM-FM - "Automated Mapping and Facility Management"
- CAD - "Computer-Aided Design"
- CCT - "Computer Compatible Tape"
- CEPSRM/UFRGS - Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia/Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- CGIS - "Canadian Geographic Information System"
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento
- COTRIJAL - Cooperativa Triticola Mista Alto Jacuí Ltda
- CPU - Unidade Central de Processamento
- DEM - "Digital Elevation Model"
- DSG - Diretoria do Serviço Geográfico
- FAO - "Food and agriculture Organization of the United Nations"
- FIBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- GPS - "Global Positioning System"
- IBM - "International Bussines Machine Corporation"
- IHS - "Intensity, Hue and Saturation"
- INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- ITR - Imposto Territorial Rural
- MNT - Modelo Numérico de Terreno
- PI - Plano de Informação
- RGB - "Red, Green, Blue"
- SGBD - Sistema Gerenciador de Banco de Dados
- SIG - Sistema de Informação Geográfica
- TIN - "Triangular Irregular Network"
- TM - "Thematic Mapper"

3D - Três Dimensões

USLE - "Universal Soil Loss Equation"

UTM - Universal Transversa de Mercator

1.INTRODUÇÃO

A reestruturação da sociedade e da economia após a Segunda Guerra Mundial, o surgimento de novas tecnologias e a exploração intensificada dos recursos naturais, acompanhados do aumento acelerado da população, resultaram no agravamento da questão ambiental. A grande pressão exercida sobre o meio ambiente pela população, buscando satisfazer demandas conflitantes por alimento, habitação, lazer e outras necessidades, aumenta continuamente. Em se tratando de países pobres, adicione-se ainda às demandas da sociedade a frenética e predatória exploração da natureza para a exportação, principalmente de matérias-primas, com a finalidade de atender credores internacionais e abastecer a indústria do primeiro mundo.

Como consequência, frequentemente tende a ocorrer a sobreutilização ou exploração errônea dos recursos naturais. Cria-se, a partir de então, um círculo vicioso de degradação e declínio da produtividade da terra que, em contrapartida, reduz a capacidade das nações em suportar sua própria população, origem das demandas. Em outras palavras, o conjunto de impactos ambientais adversos causados pelo uso inadequado dos limitados recursos naturais reverte em uma inferior qualidade de vida às pessoas que os utilizam.

Frente a esse contexto, órgãos assistenciais e de planejamento, pesquisadores, administradores e políticos são cada vez mais solicitados a proverem soluções práticas e imediatas. Todavia, o quão bem serão resolvidos os problemas relacionados à difícil tarefa de maximizar o aproveitamento e ao mesmo tempo minimizar os riscos ou qualquer degradação à base limitada de recursos naturais, depende diretamente da eficiência com que forem atacadas as questões de planejamento e gerenciamento desses recursos.

O planejamento racional do uso da terra, respeitando sua capacidade ou aptidão, é baseado em processos complexos de tomada de decisão envolvendo a melhor combinação dos vários fatores físicos, ambientais e sócio-econômicos que condicionam a produção. O

perfeito conhecimento desses fatores é indispensável à identificação de áreas passíveis de utilização sustentada com determinada atividade ou à especificação do melhor uso para uma área em particular. Essa tarefa requer a coleta, análise e manipulação de um grande número de informações de diferentes tipos, como solos, clima, vegetação, uso atual e potencial, localização de áreas urbanas, estradas, ferrovias e cursos d'água, números sobre mercados, preços, população, saúde, nutrição e outros.

O mapeamento cadastral é a melhor maneira de identificar com fidelidade as riquezas e problemas de um território, dando sustentação ao ordenamento e planejamento regional. É composto basicamente de duas partes: uma cartográfica, referenciada a um sistema de coordenadas e contendo os mapas com a área e localização das classes dos diferentes temas, e uma descritiva, com a tabulação das características das classes de cada mapa temático. O grande volume de informação, de diferentes tipos e fontes e amarrada a uma posição geográfica, exige, no entanto, métodos de manipulação e análise não convencionais e que permitam reduzir a subjetividade das avaliações efetuadas. Por reunirem um poderoso conjunto de aplicativos para coletar, armazenar, recuperar, transformar e representar visualmente dados espaciais e também estatísticos ou textuais relacionados aos mesmos, os sistemas de informação geográfica tornam-se uma valiosa ferramenta para atender tal finalidade.

Uma das atividades antrópicas mais agressivas ao ambiente, responsável pelo desmatamento, assoreamento dos cursos d'água e poluição dos mananciais e da atmosfera, é a agricultura. No Brasil, além da forte expressão econômica, explorando grandes extensões do território nacional, a agricultura desempenha um papel social fundamental, ocupando a mão-de-obra e garantindo a sobrevivência, embora precária, de milhares de famílias de pequenos produtores, evitando seu deslocamento para as cidades e o agravamento da miséria urbana. Ressalte-se ainda a condição estratégica dessa atividade, uma vez que a produção de alimentos dela depende.

Entretanto, apesar de sua importância ambiental e sócio-econômica, a agricultura constitui ainda um dos setores mais carentes de um planejamento e gerenciamento racional dos recursos envolvidos na produção. Pelo grande número de variáveis, quase todas com conotação geográfica, que condicionam a produção agrícola ou são por ela influenciadas,

pela dinâmica com que altera o padrão de uso e cobertura do solo, a agricultura é também uma das áreas mais férteis ao emprego de sistemas de informação geográfica para essa finalidade.

Embora já se registre iniciativas para disseminá-los no meio rural, ainda são necessários esforços no sentido de modificar a concepção de que os sistemas de informação geográfica são abrangentes, complexos e intangíveis para indivíduos não especialistas. Enfim, é preciso divulgar mais essa tecnologia e sensibilizar os planejadores aos benefícios que podem obter com a adoção de sistemas de informação geográfica. Torna-se fundamental, por parte dos órgãos de pesquisa e extensão, a realização de trabalhos aplicados que solucionem problemas quotidianos ligados ao setor agrícola nos municípios e regiões, visando uma produção sustentada, de acordo com as regulamentações ecológicas, e capaz de propiciar estabilidade e um padrão de vida mínimo aos produtores rurais.

O presente trabalho teve por objetivo estruturar uma base de dados geocodificada, com dados disponíveis em uma entidade ligada ao planejamento de áreas agrícolas, e empregar um SIG para a geração de produtos que constituam informação de valor relevante como subsídio à definição de estratégias por parte de cooperativas, secretarias municipais de agricultura e outros órgãos ou setores ligados ao tema. A hipótese considerada é de que a tecnologia dos SIG dispõe de recursos para fornecer suporte eficiente ao planejamento e gerenciamento de recursos na agricultura, integrando mapas, dados tabulares e imagens orbitais ou aéreas numa mesma base de dados.

2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.Sistemas de informação geográfica

2.1.1.Definição

Em uma definição geral, um sistema de informação geográfica pode ser entendido como qualquer conjunto de procedimentos, manuais ou auxiliados por computador, utilizados para armazenar e manipular dados geograficamente referenciados (Aronoff, 1990). O avanço da informática nas atividades de mapeamento e análise geográfica nos últimos anos, entretanto, acabou alterando essa definição abrangente e restringindo o conceito de SIG a sistemas baseados em computador.

Conforme Burrough (1992), por exemplo, um SIG constitui um poderoso conjunto de ferramentas para a coleta, armazenamento, recuperação, transformação e representação de dados do mundo real para um conjunto particular de propósitos (figura 2.1.). De acordo com Jackson(1992), um SIG pode também ser considerado um sistema computacional projetado para a entrada, armazenamento, manipulação, análise, representação e recuperação eficientes de todas as formas de dados geograficamente indexados e descritivos a eles relatados.

A manipulação de informação geocodificada tem sido também designada como geoprocessamento, frequentemente induzindo ao uso desse termo como sinônimo de SIG. No Brasil, em especial, a confusão é constatada em praticamente todas as áreas de alguma forma envolvidas com a utilização dessa tecnologia. Em muitos países, todavia, o geoprocessamento é um conceito mais global, abarcando desde a aquisição da informação até a obtenção do produto gráfico final, sendo o SIG considerado apenas uma ferramenta para efetuar o geoprocessamento (Xavier da Silva, 1992).

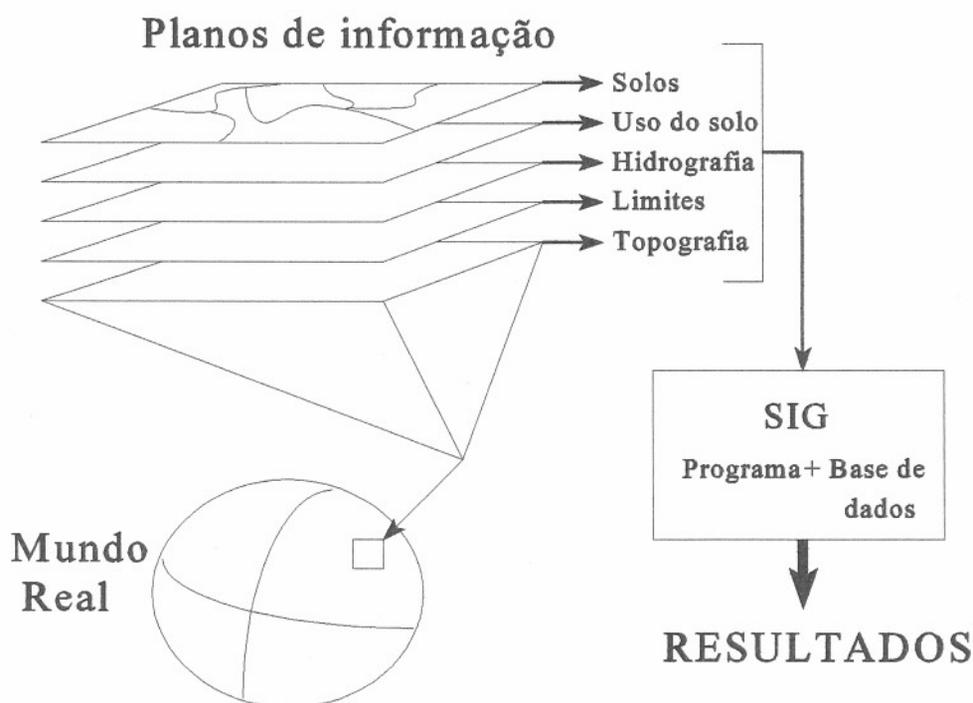


Figura 2.1. Representação do mundo real em um SIG através de planos de informação (adaptado de Almorox et al, 1994).

2.1.2. Representação da informação espacial em um SIG

Os dados geocodificados utilizados num SIG descrevem objetos do mundo real em termos da sua posição sobre um sistema de coordenadas conhecido, dos seus atributos relacionados àquela posição, ou atributos não espaciais (cor, pH, teor de algum mineral, altimetria, etc...), e das suas interrelações espaciais com outros objetos, também denominadas de relações topológicas ou topologia. O mapa é a forma de representação usual dos mesmos, podendo ser dirigido a propósitos específicos (mapas temáticos), ilustrando a distribuição de tipos de rochas, de solos ou de outros temas, ou ser elaborado com fins mais gerais, como os mapas topográficos, por exemplo, permitindo interpretações em diversos sentidos. A precisão dos mapas armazenados depende principalmente da escala do mapa base original, que determina a menor área possível de ser representada, e de sua exata reprodução digital (Aronoff, 1991; Fisher, 1992; Xavier da Silva, 1992).

De acordo com Burrough (1992) e Almorox et al (1994), um mapa pode ser armazenado e representado num SIG basicamente de duas formas. Uma delas é o formato varredura, onde cada objeto é definido por um conjunto de células independentes ("pixels") de uma grade com espaçamento determinado (resolução), localizadas por coordenadas inteiras num espaço bidimensional, às quais são atribuídos o mesmo código ou valor. Neste modelo as fronteiras dos objetos geográficos não são codificadas, mas preenche-se o interior dos mesmos, ficando seus limites implicitamente representados na imagem formada com o agrupamento de pixels iguais. A outra é o formato vetorial, que faz uso de um conjunto de linhas definidas por pontos de origem e de término, e com alguma forma de conectividade entre si. As principais entidades geográficas são pontos, similares aos "pixels" mas que não cobrem uma área, e linhas e áreas, constituídas por conjuntos de coordenadas interconectadas e que podem ser ligadas a atributos fixados. Os objetos são representados pela codificação de suas fronteiras.

O formato vetorial requer menor número de pontos que o varredura para representar um mesmo objeto, e por isso implica em menor espaço de armazenamento. A representação vetorial é também esteticamente mais apurada e independe da escala, o que permite uma definição bastante precisa de posições e dimensões porque o espaço de coordenadas é contínuo. Entretanto, a conectividade da informação vetorial exige a descrição da topologia dos objetos representados.

No formato varredura a obtenção de uma qualidade visual aceitável ou similar à vetorial pode exigir uma grade de resolução extremamente fina, em função das coordenadas quantizadas, consumindo grande espaço de armazenamento. Por outro lado, nessa estrutura o cruzamento ou combinação de mapas temáticos e imagens de satélite é mais fácil pois isso envolve a mera substituição do valor de uma célula por outro. Com vetores não somente as coordenadas mas toda a conectividade teria de ser reconstruída. Simulações e análises são também mais facilmente realizáveis no formato varredura em função da topologia implícita ao mesmo e porque todas as unidades espaciais geralmente têm o mesmo tamanho (Smith et al, 1987; Xavier da Silva, 1993).

Apesar de completamente diferentes, as abordagens vetorial e varredura para a modelagem de dados espaciais não são mutuamente excludentes. Embora até há pouco

tempo isso fosse o convencional, a existência atual de algoritmos de conversão permite desfrutar das vantagens oferecidas por cada uma, de forma que é possível realizar determinado tipo de manipulação no formato que mais eficientemente o desempenho (Zhou, 1989).

2.1.3. Histórico da evolução dos SIG

Os primeiros SIG foram descendentes diretos dos programas para mapeamento automatizado, surgidos após o advento do computador eletrônico na década de 40. Nessa fase inicial, apesar da matemática já apresentar um bom desenvolvimento no que se refere ao tratamento de dados espaciais, as limitações tecnológicas de "hardware" permitiam somente a realização de análises numéricas restritas, baseadas em processos estatísticos (Burrough, 1992).

A parte gráfica propriamente dita só foi integrada mais tarde, mas com produtos de qualidade visual ainda bastante rudimentar. A pesquisa concentrava-se na conversão da informação espacial da forma analógica de mapas e fotografias aéreas para a forma digital. Por dificuldades mais de ordem tecnológica que conceitual o armazenamento dos dados era feito em arquivos vetoriais, uma vez que os computadores não tinham capacidade para armazenar imagens com resolução espacial razoável. Em termos de análise geográfica foram poucos os resultados práticos de alguma significância registrados nesse período inicial (Aronoff, 1991).

O termo "Sistema de Informação Geográfica" começou a ser regularmente empregado no início dos anos 60, registrando-se na América do Norte e Europa as primeiras pesquisas mais específicas para sua operacionalização. O primeiro sistema digital operacional definitivamente considerado como um SIG foi o "Canadian Geographic Information System", desenvolvido em 1964 pelo Departamento de Agricultura do Canadá em conjunto com a IBM para o programa de planejamento da reabilitação e desenvolvimento das terras agrícolas do país. Outros SIG foram concebidos nos Estados Unidos e Europa logo em seguida, resultado de pesquisas conduzidas por universidades e órgãos do governo (Jackson, 1992).

A década de 70 foi o período de difusão dos SIG, com crescente interesse por parte dos órgãos governamentais. Projetos para aplicações bastante variadas foram criados, abrangendo desde o uso de SIG para a manipulação e análise de dados censitários e de cadastro até estudos em planejamento territorial e controle ambiental (Johnston, 1988). Avanços na capacidade de memória e de processamento dos equipamentos propiciaram alguns impulsos na capacidade de análise dos sistemas, resultado de experiências da década anterior. Ao mesmo tempo o desenvolvimento da tecnologia de "Desktop editing" foi responsável por uma redução de custos do "hardware". Também surgiram interfaces para os usuários, possibilitando uma maior interferência e facilitando a operação do sistema. Os bancos de dados já dispunham de capacidade para grandes volumes de informação, mas permaneciam ainda restritos a máquinas de grande porte (Teixeira et al, 1995; Xavier da Silva, 1995).

Segundo Ehlers et al (1989), nessa época os sistemas consistiam de dois módulos que rodavam separadamente, algumas vezes até em máquinas distintas (figura 2.2a). Um "software" de processamento cartográfico (vetorial) manipulava a informação espacial e um sistema gerenciador de bancos de dados (SGBD) era empregado para a manipulação dos dados alfanuméricos referentes às propriedades dos objetos geográficos.

Os anos 80 já foram marcados por uma evolução tecnológica mais acentuada, possibilitando maior rapidez, facilidade e flexibilidade na manipulação dos dados geográficos. Além disso, em função de seu potencial, os SIG também passaram a despertar maior interesse no setor industrial e comercial, verificando-se a participação cada vez mais intensa de empresas no seu desenvolvimento. A produção de novos sistemas cresceu tanto que um levantamento realizado nos Estados Unidos no final da década de 80 contabilizou 62 SIG diferentes, embora poucos fossem realmente completos (Parker, 1989).

A contribuição inicial para a significativa evolução ocorrida nos anos 80 foi atribuída aos avanços em "hardware", com o surgimento de periféricos gráficos de alta qualidade para entrada e saída de dados e o expressivo aumento na capacidade dos dispositivos de armazenamento (Teixeira et al, 1995). Logo depois, porém, foram registrados importantes progressos conceituais, como a ligação entre o banco de dados gráfico e o alfanumérico, o que constitui um marco para o SIG. Num primeiro momento a

ligação era feita interativamente ou por módulos de importação/exportação, mas os "softwares" que gerenciavam os dois bancos continuavam rodando em separado (figura 2.2b). Essa arquitetura teve vida breve, sendo logo alterada para uma forma em que o processamento cartográfico e SGBD ficaram diretamente interligados numa interface única (figura 2.2c), que representa o padrão em muitos dos SIG atuais (Ehlers et al, 1989).

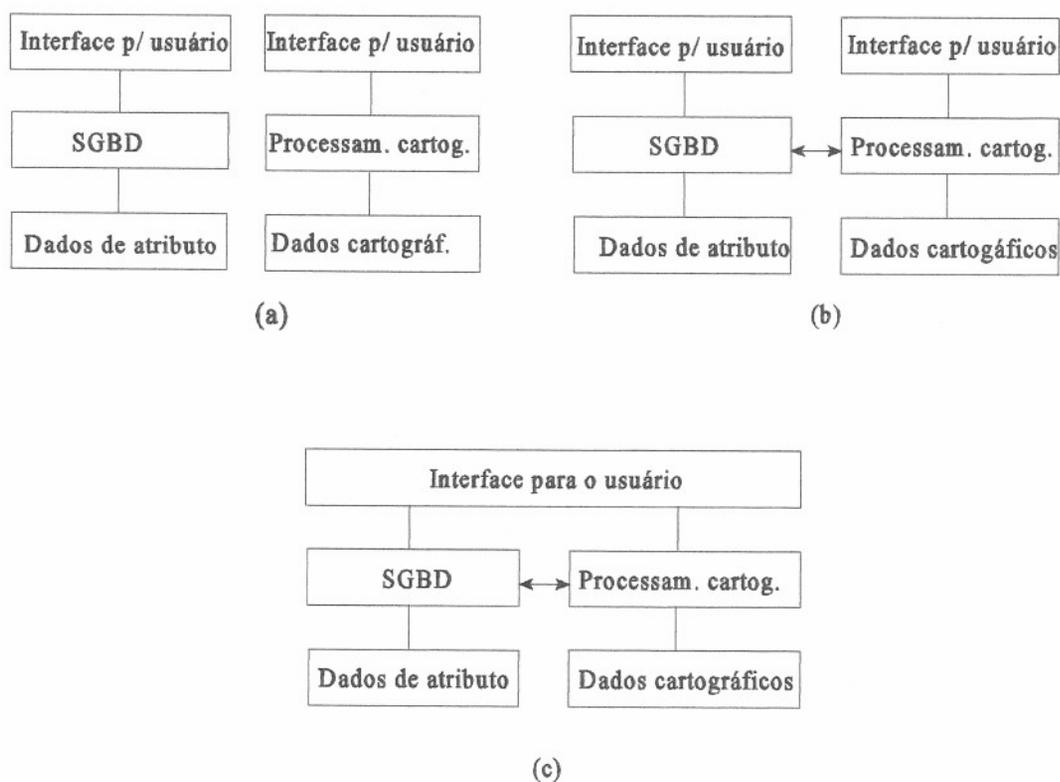


Figura 2.2. Estágios da evolução tecnológica dos sistemas de informação geográfica (adaptado de Ehlers et al, 1989).

Ao mesmo tempo ocorreram também grandes avanços na tecnologia de processamento de imagens digitais, principalmente dos satélites de recursos naturais que começaram a ser lançados a partir da década de 70. A necessidade de resolver os problemas ambientais decorrentes da intensa e crescente exploração econômica exigia cada vez mais o cuidadoso planejamento do uso dos recursos naturais. As imagens orbitais, em função de

suas características espaciais, espectrais e de repetibilidade, tornaram-se elemento indispensável na maioria dos estudos relacionados ao meio ambiente em grandes extensões (Zhou, 1989; Fabbri, 1992; Xavier da Silva, 1992).

O aprimoramento dos SIG, anexando funções em formato varredura, possibilitou a inclusão direta dos produtos de sensoriamento remoto orbital como fonte de informação para as análises neles conduzidas. A importância das imagens de satélite para o mapeamento e monitoramento alcançou um nível tal que, como recurso para melhor aproveitar suas características, diversos sistemas para geoprocessamento baseados exclusivamente em formato varredura foram desenvolvidos. A troca de dados entre os SIG e os sistemas de processamento de imagens tornou-se possível nos dois sentidos através de módulos de conversão, como representado na figura 2.3a e 2.3b.

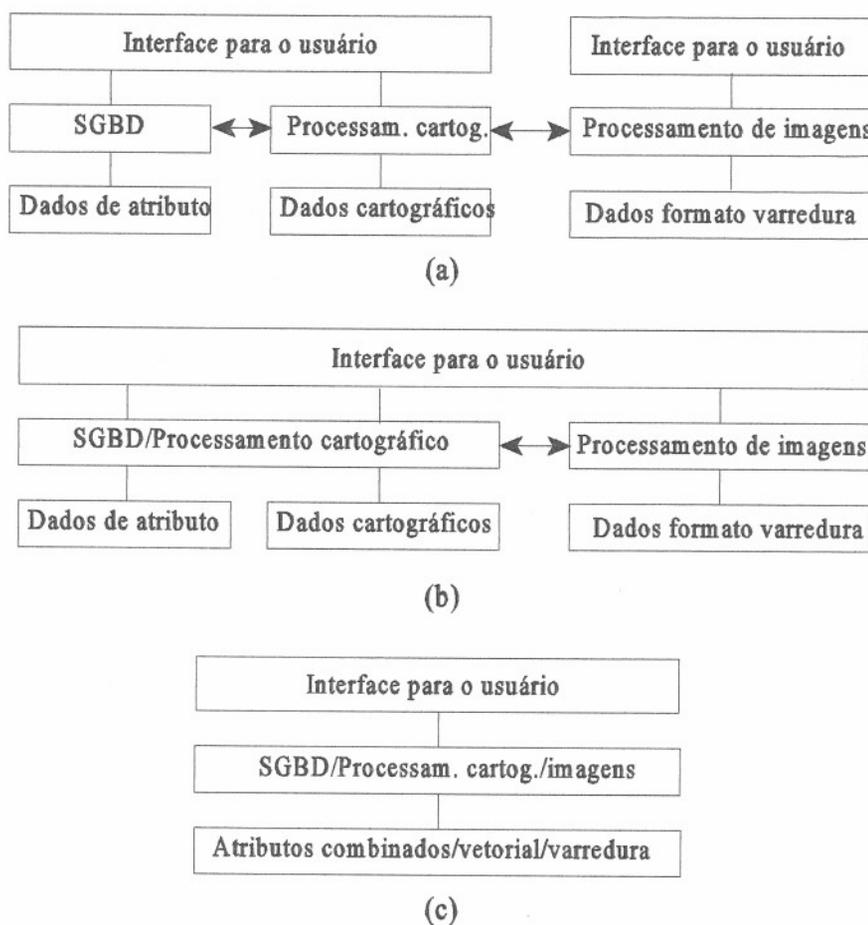


Figura 2.3. Estágios evolutivos da integração de SIG e sistemas de processamento de imagens digitais (adaptado de Ehlers et al, 1989).

Entretanto, não obstante o significativo progresso conceitual verificado quanto à ligação do processamento cartográfico com SGBD e à integração dos SIG com o sensoriamento remoto, o estado da arte na evolução desses sistemas reside num estágio algo mais avançado, representado por uma única unidade de "software" com processamento combinado, como pode ser observado no esquema da figura 2.3c (Ehlers et al, 1989; Fabbri, 1992; Chagarlamudi & Plunkett, 1993).

Quanto ao desempenho dos sistemas, do progresso verificado desde os primeiros SIG até os dias atuais, pode-se destacar o sensível incremento na capacidade de armazenamento e na velocidade de análise, além da habilidade em atualizar informações geocodificadas e integrar eficientemente múltiplos conjuntos de dados de diferentes tipos e formatos. Isso inclui tabelas, imagens de satélite, fotografias aéreas, levantamentos de campo, dados cadastrais e censitários ou qualquer outra informação relatada a uma posição no espaço (Aronoff, 1991).

Convém ressaltar que a faculdade de operar com dados geo-referenciados, todavia, não é exclusividade dos SIG. Sistemas baseados em CAD e aplicativos AM-FM podem realizar igualmente muitas tarefas desempenhadas por aqueles. Conforme Aronoff (1991) e Almorox et al (1994), a diferença fundamental é a habilidade do SIG para integrar dados geograficamente referenciados e gerar nova informação a partir de um conjunto de dados previamente existentes, mediante sua manipulação, reelaboração e análise. Os SIG também manipulam um volume e uma diversidade de informações muito maior que outros sistemas e empregam métodos de análise de natureza altamente especializada (Burrough, 1992; Xavier da silva, 1992). Outra característica importante, segundo Assad & Sano (1993), é a capacidade do SIG de tratar eficientemente as relações espaciais entre os objetos geográficos (vizinhança, proximidade, pertinência) e as diversas escalas e projeções cartográficas.

2.1.4. Componentes de um SIG

Genericamente os componentes de um SIG são três: o "hardware", um conjunto de módulos aplicativos de "software" e, não menos importante, um contexto ou estrutura organizacional que envolve sua operacionalização. É necessário que todos os componentes

estejam em balanço para garantir um funcionamento adequado e satisfatório do sistema implantado (Antoine, 1990).

a)"Hardware"

Os principais elementos de "hardware" de um SIG estão representados na figura 2.4. O equipamento básico é o seguinte:

- um computador ou unidade central de processamento (CPU). Podem também ser vários computadores no caso do sistema operar em rede;

- uma mesa digitalizadora, "scanner" ou outro dispositivo de alta capacidade utilizado para converter a informação geográfica de mapas e documentos para a forma digital e introduzi-los no computador. Inclui-se também um "driver" para a leitura e entrada de dados adquiridos já em forma digital, como imagens de satélite;

- uma unidade de disco de grande capacidade para o armazenamento de dados e programas;

- uma unidade de fita magnética para a leitura e armazenamento de dados adicionais, programas ou cópias de segurança;

- um "plotter" ou outro dispositivo para a impressão de mapas e outras saídas gráficas do sistema;

- uma unidade visualizadora gráfica colorida de alta definição para a visualização e edição das informações espaciais.

b)"Software"

Conforme Burrough (1992), Antoine (1990), Assad & Sano (1993) e Xavier da Silva (1992), o "software" que integra um SIG pode ser dividido em cinco módulos principais, quais sejam:

- a) entrada de dados (digitalização), que é a transformação dos dados existentes na forma de mapas, informações de campo e de diversos sensores, como fotografias e imagens de satélite, para uma forma digital compatível com o sistema empregado;

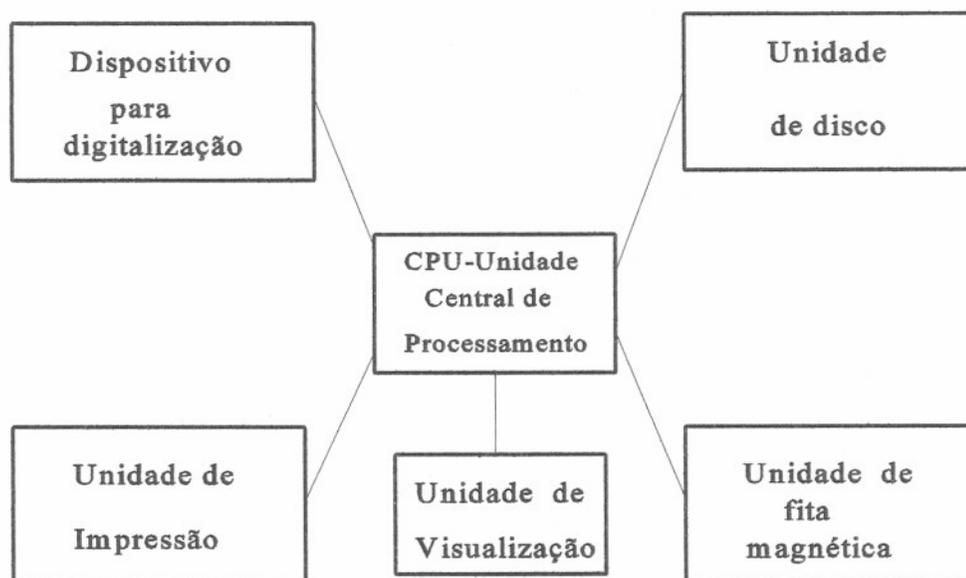


Figura 2.4. Principais componentes de "hardware" do SIG (adaptado de Burrough,1992).

b) armazenamento de dados e gerenciamento da base de dados, que consiste na estruturação e organização, no computador, dos dados sobre a posição, atributos e a topologia de elementos geográficos;

c) transformação dos dados, que reúne o conjunto de rotinas necessárias para remover erros dos dados e o conjunto de métodos de análise que podem ser aplicados aos dados de forma a encontrar as respostas aos questionamentos formulados. As transformações podem ser operadas sobre dados espaciais e não espaciais, conjunta ou separadamente;

d) interface com o usuário (edição de mapas e gráficos, consultas ao banco de dados alfanumérico);

e) saída e apresentação de dados, constituindo os meios para a visualização e confecção dos produtos contendo os resultados da análise estabelecida pelo usuário. As

opções incluem mapas, tabelas e figuras, os quais podem ser apresentados em um monitor, impressos em base de papel ou outro material ou armazenados em meio magnético.

O conjunto de funções oferecidas pelo "software" pode ser dividido em seis grupos principais, ressaltando-se o fato de que normalmente nem todas são encontradas num mesmo sistema. Alguns SIG são muito avançados em determinadas aplicações, resultado da finalidade para a qual cada um foi desenvolvido. Resumidamente, os grupos de funções são os seguintes:

- Análise geográfica, que permite a combinação de informações temáticas e a obtenção de medidas, podendo ser realizada no domínio vetorial ou raster. Basicamente oferece funções de superposição, ponderação, medidas de área e perímetro, geração de mapas de distância, tabulação cruzada e consulta ao banco de dados;

- Processamento digital de imagens, que possibilita o tratamento de imagens de satélite ou digitalizadas por "scanners". Inclui realce por manipulação de histograma, filtragem espacial, classificação, rotação espectral, transformação RGB-IHS e registro;

- Modelagem numérica de terreno, que inclui determinação do modelo de grade (regular ou triangular) a partir de linhas e pontos, geração de mapas de isolinhas, de declividade e de aspecto, visualização em 3D com imagens e temas superpostos, cálculos de volumes e análise de perfis;

- Geodésia e Fotogrametria, que reúne opções muito específicas para aplicação em cartografia automatizada, como interface com restituidores fotogramétricos, geração de ortofotos e ortoimagens, comunicação com receptores GPS e aplicativos para restituição fotogramétrica digital;

- Produção cartográfica, que consiste na definição interativa de uma área de plotagem, colocação de legendas e textos explicativos. Normalmente existe uma biblioteca de símbolos para facilitar o trabalho.

- Modelagem de redes, as quais são estruturas lineares conectadas que armazenam informações sobre recursos que fluem entre diferentes localizações geográficas. Cada nó de arco tem características próprias que ficam armazenadas num banco de dados. As funções básicas em modelagem de redes consistem no cálculo de caminho ótimo e crítico, embora existam inúmeras possibilidades. Atualmente, várias dessas soluções que antes eram típicas

de modelagem de redes já podem ser obtidas sobre o formato raster. Aplicações específicas dependem de cada programa e muitas vezes são resultado de adaptações introduzidas para cada usuário.

c) Contexto organizacional

A simples aquisição de "hardware" e "software" não é garantia de que um SIG vai operar de forma adequada. Apesar da capacidade analítica, como ocorre com qualquer outro sistema, ele não encontra um fim em si próprio, mas faz parte de um contexto. Um desempenho satisfatório depende dos aspectos organizacionais que envolvem sua introdução e operacionalização na rotina da empresa ou instituição interessada (Burrough, 1992).

Convém ressaltar que introduzir uma nova tecnologia, no caso o SIG, implica na adoção de novos e mais eficazes métodos para satisfazer as mesmas necessidades, mas as organizações normalmente tendem a reagir lenta e relutantemente à pressões por mudanças. Numa primeira fase, em função da experiência já adquirida, é comum o entendimento de que o SIG virá apenas para automatizar parcial ou totalmente tarefas manuais. Todavia, embora essa abordagem provoque uma menor interferência nos procedimentos que a organização adaptou durante anos ela também conserva as limitações implícitas na tecnologia anterior.

Para que todas as potencialidades oferecidas pelo sistema possam ser efetivamente desfrutadas torna-se necessária uma nova compreensão de todo o processo de produção da informação geográfica. Um novo posicionamento deve ser adotado, onde o objeto principal do trabalho passa a ser o produto final, aquele que constitui a resposta a um determinado questionamento ou a solução de um problema, esquecendo-se os passos intermediários convencionais e substituindo-os por formas mais eficientes de chegar ao mesmo resultado. Com essa postura ocorrem ganhos reais em relação aos métodos tradicionais, no que se refere a precisão, rapidez e disponibilidade da informação geográfica para a tomada de decisão, e muitas vezes trabalhos antes impossíveis de serem realizados ou impraticáveis podem tornar-se executáveis (Frank et al, 1991).

Essa mudança conceitual deve abarcar todas as partes envolvidas, desde os técnicos das mais diversas áreas de conhecimento até a estrutura funcional da organização e suas relações comerciais ou de cooperação com outras organizações. O treinamento dos

planejadores e dos diversos profissionais que de alguma forma estarão relacionados à operacionalização do SIG é de importância estratégica para o aproveitamento integral da sua capacidade de processamento (Burrough, 1992).

Um dos fatores mais importantes no êxito ou insucesso de um sistema dessa natureza é o ambiente gerencial em que ele funciona. É o que determina se o conjunto de equipamentos, programas e recursos humanos envolvidos vai funcionar efetivamente como um sistema de informações ou apenas como um recurso para realizar tarefas antes executadas manualmente. Um ambiente gerencial adequado habilita a organização a ser flexível o suficiente para adaptar-se às novas metodologias sem deixar de satisfazer suas principais necessidades e metas. A figura 2.5 mostra um esquema genérico desse ambiente.

Normalmente o SIG é operado por técnicos com alguma especialização ou treinamento, que prestam contas a uma direção ou gerência. Esta, por sua vez, é quem autoriza ou determina a maneira de operá-lo para atender as exigências de determinada comunidade de usuários, segundo as prioridades estabelecidas. Os usuários podem ser agrupados em internos, sob os auspícios da mesma direção que controla o SIG, e externos, constituídos por profissionais de outros departamentos, organizações cooperadas e pelo público em geral, que também se beneficiam dos serviços do sistema (Aronoff, 1991).

2.1.5. Tendências de Uso e de Evolução Técnica

No que se refere às aplicações de geoprocessamento a principal tendência internacional é de aumento expressivo no volume de dados tratados e maior detalhamento nas análises. Crescem também o interesse em modelagens e simulações de processos e fenômenos e a demanda por aplicativos de apoio à tomada de decisão mais ágeis e potentes.

Com o custo decrescente de "hardware", embora os preços de "software" ainda mantenham-se elevados, pode-se prever a proliferação das aplicações locais ou em pequenos projetos, com maior dedicação a problemas urbanos e ambientais (Burrough, 1992; Smith et al, 1987; Dobson, 1993; Aguglino & Rodriguez, 1994).

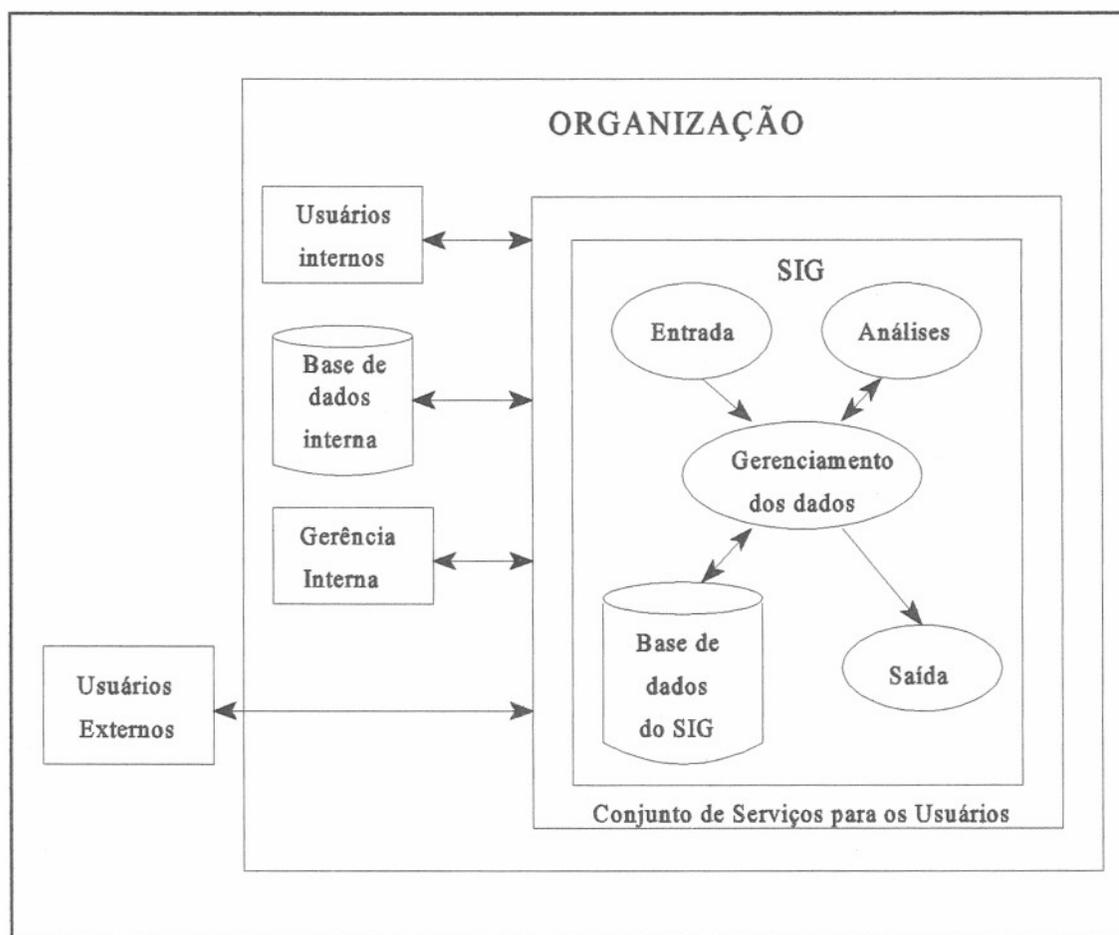


Figura 2.5. Ambiente gerencial que envolve a operacionalização de um SIG (adaptado de Aronoff, 1991).

Existem também fortes indicativos da difusão dos SIG em estudos a escalas mais abrangentes, em nível regional, nacional e até mundial, principalmente por parte de agências governamentais voltadas ao planejamento territorial e meio-ambiente. Nesse caso, aqueles projetos locais ou específicos rodados em sistemas descentralizados servirão como uma das fontes para entrada de dados. Em função da necessidade de integração dos vários sistemas é possível que num futuro próximo também tenham de ser estabelecidos padrões de georefenciamento da informação espacial.

Para que isso se concretize, duas fronteiras precisam ser ultrapassadas. A primeira refere-se à inexistência de uma escala bidimensional que preserve tanto os valores de distância quanto de área dos temas representados na passagem de escalas locais para

continentais ou mundial. Atualmente a grade de latitudes e longitudes é a forma mais comum e fácil de contornar o problema, mas já existem métodos mais eficientes e complexos em desenvolvimento. A segunda refere-se à conversão de formatos de representação entre diferentes SIG, cujo estágio atual permite a transferência da geometria dos objetos representados mas enfrenta problemas com os atributos não espaciais, que são armazenados de forma própria em cada sistema (Maguire et al, 1992; Clark et al, 1992; Wheeler, 1993; Rodrigues & Vilaça, 1994; Oliveira et al, 1995).

No tocante à evolução técnica dos SIG, as tendências são menos claras. Conforme análises já conduzidas sobre o assunto, as expectativas em relação ao desenvolvimento da tecnologia de "hardware" para os próximos anos são bastante otimistas. Ao que tudo indica a capacidade de processamento da CPU, em milhões de instruções por segundo (mips), tende a continuar aumentando rápida e constantemente e os preços de memória principal e o tempo de acesso a discos rígidos a reduzirem-se ano a ano. O incremento em velocidade e capacidade de processamento habilita o equipamento a realizar quaisquer tarefas a ele designadas cada vez mais rapidamente.

O maior desafio no desenvolvimento dos SIG, de fato, reside em entender como aproveitar da forma mais vantajosa todo o potencial oferecido pelo "hardware". Portanto, o fator limitante crucial ao efetivo progresso técnico dos sistemas é o "software", já que é sua estrutura que determina o desempenho dos mesmos. Têm-se constatado nos últimos anos uma relativa escassez de novas soluções, responsável por uma defasagem entre as implementações em "hardware" e "software" que vem se acentuando. Isso ocorre porque o desenvolvimento de tecnologias radicalmente novas é extremamente oneroso, tanto em termos financeiros quanto em consumo de tempo, sendo que a introdução, teste e operacionalização de um novo método pode compreender um período estimado entre 8 e 10 anos. Alguns dos poucos avanços reais obtidos ultimamente na engenharia de "software" foram colocados no mercado vários anos após o planejado e a um custo muito acima do inicialmente esperado (Frank et al, 1991).

Apesar de seus avanços os sistemas atuais podem ser descritos como um conjunto de funções ainda incapazes de satisfazer plenamente os requisitos para manuseio de grandes bases de dados espaciais. A maior parte da tecnologia que pode afetar a utilização dos SIG

na presente década ainda se encontra em laboratórios de pesquisa ou de desenvolvimento. As inovações teóricas e práticas estudadas enquadram-se basicamente em duas grandes áreas, quais sejam o manuseio da informação espacial e as funções de análise espacial (Assad & Sano, 1993).

A primeira concentra-se na pesquisa de novas alternativas para o tratamento eficiente de grandes bases de dados. Os principais tópicos são o desenvolvimento de bancos de dados não convencionais, de linguagens de consulta espacial mais aperfeiçoadas e de novas estruturas de dados, para substituir o ambiente dual entre SGBD e processamento cartográfico (figura 2.2) e melhorar o armazenamento e recuperação da informação espacial (Egenhofer, 1992).

Quanto à área de análise espacial, os temas mais visados são modelagem conceitual de dados espaciais e representações topológicas múltiplas, com o objetivo de eliminar a dicotomia de formatos varredura e vetorial e de permitir a melhor representação de relações espaciais complexas como pertinência e hierarquia. Um número cada vez maior de funções de processamento de imagens tende a ser anexada aos SIG, contribuindo para tornar os sistemas um bloco único, como a estrutura representada na figura 2.3c. A extração de informação em imagens de satélite, principalmente aquelas de alta resolução espacial onde as hipóteses gaussianas deixam de ser válidas, constitui outro tema de especial interesse. Neste caso as tendências internacionais apontam para o desenvolvimento de novos métodos de segmentação, redes neurais e lógica fuzzy (Burrough, 1992; Assad & Sano, 1993; Chagarlamudi & Plunkett, 1993).

2.2.Implementação de um SIG

De acordo com Burrough (1992) e Townshend (1992), a operacionalização de um SIG, antes de entrar nos aspectos técnicos propriamente ditos, implica em uma série de fatores a observar. Primeiro, é preciso ter certeza de que o sistema escolhido satisfaça adequadamente os requerimentos técnicos necessários à aplicação pretendida. Segundo, é preciso ter ciência da complexidade da informação geográfica e de um sistema da natureza de um SIG, que exigem a presença de pessoal treinado e uma previsão de recursos financeiros para tal. Terceiro, o tipo de SIG adotado provoca reações na forma como a organização interessada trabalha, sendo desejável prever tão bem quanto possível os aspectos gerenciais do problema após a opção por um dado sistema.

Uma vez definido o sistema, a operacionalização de um SIG pode ser resumida em duas etapas principais, quais sejam a montagem da base de dados e a implementação das rotinas de análise sobre os mesmos.

2.2.1.Confecção da base de dados analisáveis

A montagem da base de dados refere-se a todos os passos desde a coleta das informações até sua introdução no sistema e preparação para a execução das análises. É a fase da operacionalização de um SIG que mais consome recursos financeiros e tempo. A entrada dos dados, em especial, constitui um ponto crítico, pois é onde são definidas as características que vão interferir na posterior utilização dos mesmos, como o referencial geográfico adotado (sistema de projeção cartográfica), a escala de trabalho, a estruturação dos diferentes tipos de dados e a ligação entre os componentes espaciais e descritivos da informação temática (Antoine,1990).

Existem vários métodos para entrada de dados, sendo que a opção por um deles depende principalmente da aplicação pretendida, do tipo de dado a introduzir e da forma em que ele se encontra.

a) Digitalização

A digitalização consiste na conversão dos dados da forma analógica (mapas, fotografias aéreas, relatórios, etc...) para uma forma digital compatível com o SIG utilizado, e pode ser manual ou automática.

Digitalização manual: é feita pelo teclado ou através de uma mesa digitalizadora. No primeiro caso enquadram-se principalmente dados descritivos de textos, relatórios, gráficos, etc., mas há também a possibilidade de introduzir ou atualizar arquivos em formato raster, sendo a operação executada célula a célula (Ruiz Posse, 1995).

A utilização de uma mesa permite que as feições do mapa sejam digitalizadas como pontos isolados ou na forma de vetores, isto é, seqüências de pontos sobre uma linha de início e fim determinados. As coordenadas x, y dos pontos e linhas são obtidos com o auxílio de um cursor. Cada ponto de intersecção de duas ou mais linhas constitui um nó em que as linhas que se interceptam devem ser sempre interrompidas.

O cuidado na interrupção das linhas precisa ser aumentado durante a digitalização de polígonos porque cada arco marca a linha divisória entre dois polígonos adjacentes e, portanto, representa simultaneamente os lados de ambos. Como o lado de um polígono pode apresentar adjacência com vários polígonos menores e um arco não pode pertencer a mais de dois polígonos ao mesmo tempo, esse lado deve ser dividido em tantos arcos interconectados quantos forem os polígonos adjacentes menores. Caso essa condição não for observada o sistema não reconhecerá a totalidade dos polígonos do mapa digitalizado (Burrough, 1992).

Digitalização Automática: em geral é efetuada através de dispositivos chamados "scanners", que produzem uma imagem digital do mapa através de um detector eletrônico que se desloca sobre a superfície do mesmo. Podem ser arbitrados o tamanho das células da imagem, e a produção da imagem colorida ou em preto e branco. A digitalização automática pode ser feita também por estereorrestituidores, que passam as coordenadas dos pontos das isolinhas direto para o computador, gerando arquivos vetoriais (Aronoff, 1991).

b) Importação de dados em forma digital

O aproveitamento de informações sobre a área de interesse já existentes na forma digital, levantadas anteriormente por outras instituições ou empresas, é uma solução eficaz na estruturação da base de dados, propiciando economia de tempo e racionalização no uso de recursos financeiros. A importação de dados digitais abarca arquivos vetoriais de várias origens, diferentes tipos de arquivos varredura (mapas temáticos, imagens de videocâmaras, imagens de satélite, etc.) e outras informações de caráter espacial, como relatórios de dados censitários, listas de números telefônicos e listas de logradouros, entre outros.

O aumento no número e eficiência dos algoritmos para conversão de dados tem facilitado o intercâmbio de informações entre diversos SIG e entre SIG e outros programas. Todavia, frequentemente algum tipo de incompatibilidade impede a utilização direta dos dados, tornando-se necessária uma adequação prévia para compatibilizá-los com o sistema utilizado e permitir a realização de análises (Burrough, 1992).

c) Preparação dos dados

A preparação refere-se a todos os procedimentos aplicados aos dados introduzidos no sistema para torná-los compatíveis com o mesmo e entre si, podendo assim serem submetidos às metodologias de análise pretendidas. Como a maior parte das análises sobre dados espaciais é conduzida em matrizes a conversão dos arquivos vetoriais para o formato varredura é um dos passos mais comuns. A conversão para varredura consiste na sobreposição de uma grade regular ao arquivo vetorial, de forma que cada célula assume o valor do ponto de coordenadas idênticas no mesmo.

No caso de arquivos vetoriais que representam áreas, antes da conversão é necessária a operação de poligonalização, onde são identificados os arcos (vetores) que pertencem a cada polígono e é construída a estrutura de relacionamentos espaciais dos mesmos (topologia). Quando os arquivos vetoriais representam isovalores (topografia, dados meteorológicos, etc.) a conversão para o formato varredura é feita por interpoladores, do que resulta um Modelo Numérico de Terreno. Um MNT é essencialmente um conjunto estruturado de dados de coordenadas x, y e z que pode ser utilizado para representar quaisquer variáveis distribuídas num espaço bidimensional, como o teor de algum mineral

ou pH do solo, associando seus valores à coordenada z (Lombardi Neto & Camargo, 1992; Chagarlamudi & Plunkett, 1993).

Os interpoladores são algoritmos matemáticos que estimam os valores de variáveis em locais onde não existem dados dentro de uma área com valores medidos. Podem ser classificados em dois grandes grupos, quais sejam os interpoladores de transição abrupta e interpoladores de transição gradual.

Os interpoladores de transição abrupta ou de fronteira assumem que as variações importantes ocorrem entre regiões ou unidades, considerando um comportamento homogêneo da variável dentro de cada região. Os Polígonos de Thiessen, bom exemplo deste tipo de interpoladores, assumem como valor z no ponto a ser estimado o valor correspondente do ponto medido mais próximo. São apropriados para cartas temáticas (solos, vegetação, geologia, etc.), onde a variável toma valores discretos bem marcados.

Os interpoladores de transição gradual assumem que as variações no espaço analisado são contínuas, e podem ser subdivididos em métodos de ajuste global e métodos de ajuste local. Os métodos de ajuste global tomam em conta a variação geral da área, de forma que na estimativa dos parâmetros do modelo de interpolação são utilizados todos os pontos medidos. São úteis quando a variável z responde a variações de baixa frequência espacial e é homogênea em toda a região, ou seja, em casos onde a variação espacial do atributo em questão pode ser adequadamente descrito por expressões matemáticas simples como polinômios de graus baixos (lineares, quadráticos ou cúbicos).

Os interpoladores de ajuste local subdividem a área em pequenos setores com alguma característica em comum, dentro da qual se realiza a interpolação por diferentes algoritmos. Existe uma grande variedade de interpoladores de ajuste local e cada um tem uma utilidade e característica particular. Para a geração de MNTs do relevo os mais utilizados são o inverso da distância, Kriging e triangulação de Delaunay.

Existem artifícios para melhorar o desempenho dos interpoladores, como a ordenação e seleção dos dados computados na estimativa de cada ponto, quais sejam a anisotropia-isotropia e o tipo de busca, ambos muito relacionados. Isotropia é selecionar os dados em todas as direções com igual critério, ao passo que a anisotropia não cumpre com este requisito, dando preferência em algum sentido em detrimento de outro. A anisotropia

é utilizada quando os dados apresentam uma variação espacial diferencial em alguma direção, dando-lhe um raio de busca menor no sentido da maior variação e um raio maior no sentido da menor variação. Isto pode eliminar as ilhas de interpolação criadas com Kriging e inverso da distância (Cressie, 1993).

O tipo de busca, por sua vez, setoriza a área onde o interpolador selecionará os pontos de dados para a estimação de um ponto da quadricula. Essa setorização pode ser em quadrantes ou octantes, consistindo em subdividir a área total em quatro ou oito segmentos de planos, através de quatro ou oito semiretas em sentido vertical, horizontal e diagonal com origem no ponto a ser estimado. O interpolador buscará em cada segmento um número similar de pontos amostrais aos quais pode-se adicionar a condição de que os pontos em cada setor sejam de diferente cota. Isso evita que uma concentração de pontos medidos em uma determinada direção preencha toda a amostra da interpolação, introduzindo assim uma clara tendenciosidade no processo.

Quando um MNT é interpolado a partir de curvas de nível a concentração dos pontos sobre as isolinhas induz à formação de patamares no modelo resultante, problema que pode ser minimizado com o tipo de busca (por octante e por cota).

Ainda se tratando de conversão de formato, algumas vezes é necessário converter arquivos varredura ao formato vetorial, o que exige a também a presença de um operador para efetuar a seleção e edição das feições a converter. Após a conversão cada elemento espacial recebe um valor que será o identificador para a ligação com os dados descritivos (Burrough, 1992; Oliveira et al, 1995).

No caso de imagens de satélite ou de outros sensores, a aplicação de um conjunto de funções de processamento e classificação é normalmente necessário antes da utilização no SIG. É essencial proceder o ajuste ao sistema de coordenadas escolhido, chamado de registro, através de correções geométricas desempenhadas na maior parte das vezes por polinômios de primeiro grau. As manipulações de histograma constituem outro processamento importante e comumente realizado, buscando melhorar a qualidade visual das imagens disponíveis. Finalmente, a classificação das imagens, por diferentes métodos, permite a extração dos diversos temas nela contidos e sua posterior representação em mapas temáticos no ambiente do SIG.

Quando se deseja visualizar uma imagem colorida, com a composição de três bandas nas cores vermelha, verde e azul, torna-se necessário o artifício da codificação. Na codificação é gerada uma única imagem em que a cada pixel é atribuído um valor, resultante de um cálculo efetuado com os níveis de cinza associados à cor escolhida para cada uma das bandas originais, que identifica sua cor em uma palheta de cores (Aronoff, 1991).

2.2.2.Implementação das rotinas de análise

A aplicação de rotinas ou procedimentos de análise representa a conclusão de todo o processo, a fase final no emprego de SIG para qualquer propósito. Nessa etapa, através de transformações efetuadas sobre a base de dados geográfica e alfanumérica previamente montada, ocorre a produção efetiva de nova informação.

Um Sistema de Informações Geográficas tem a capacidade de integrar dados, gerando planos derivados que contêm as informações dos planos originais e demonstram sua interação. Algumas das técnicas mais utilizadas na integração dos dados espaciais em SIG são as consultas diretas à base de dados e o cruzamento (Burrough, 1992).

As consultas à base de dados podem se referir às propriedades espaciais e aos atributos não espaciais intrínsecos de cada classe do mapa analisado (classe, cor, valor, etc...) ou a dados descritivos (alfanuméricos) armazenados em forma tabular através de SGBD. Ambas procuram as unidades que satisfazem uma determinada condição, embora operem de maneiras distintas, ou recuperam os atributos de uma determinada unidade. As unidades selecionadas podem ser apenas visualizadas em tela ou utilizadas para a criação de um novo mapa com a sua distribuição.

A técnica de cruzamento se desenvolve sobre as informações em formato varredura, sendo que todos os planos devem ter o mesmo tamanho, ou seja, igual número de linhas e colunas, porque a análise é feita por operações matriciais de célula. Cada célula do novo plano é o resultado da interação das células correspondentes dos planos de origem.

Os cruzamentos podem ser lógicos ou aritméticos. Os lógicos são realizados por meio dos operadores lógicos "E", "OU" e "NÃO", onde o plano derivado delatará que a condição imposta é cumprida em todos os planos ou em um plano ou outro. Os cruzamentos aritméticos são efetuados através dos operadores aritméticos "+", "-", "x", "/", etc.

Uma das grandes aplicações de cruzamento é a implementação de modelos envolvendo mapas de natureza variada. Um grande número de planos pode ser utilizado para calcular célula a célula o valor ou grau de determinado fenômeno, além de quantificar sua distribuição e abrangência na região de interesse (Risso, 1993; Ruiz Posse, 1995).

A análise multitemporal constitui outra aplicação importante da técnica de cruzamento. É realizada por meio de cruzamentos lógicos, onde o plano resultante é uma combinação dos planos originais com as regras de cruzamento seguintes:

valor maior no plano 1 "E" valor menor no plano 2

"OU"

valor menor no plano 1 "E" valor maior no plano 2

"OU"

sem variação no plano 1 e plano 2

Obtém-se dessa forma um plano com as diferentes classes de alteração do tema em questão entre as datas analisadas. Estas regras podem ser ampliadas para distinguir não somente as alterações mas também a intensidade com que ocorreram.

A figura 2.6 mostra um diagrama de fluxo da implementação de um SIG, evidenciando os pontos abordados neste item.

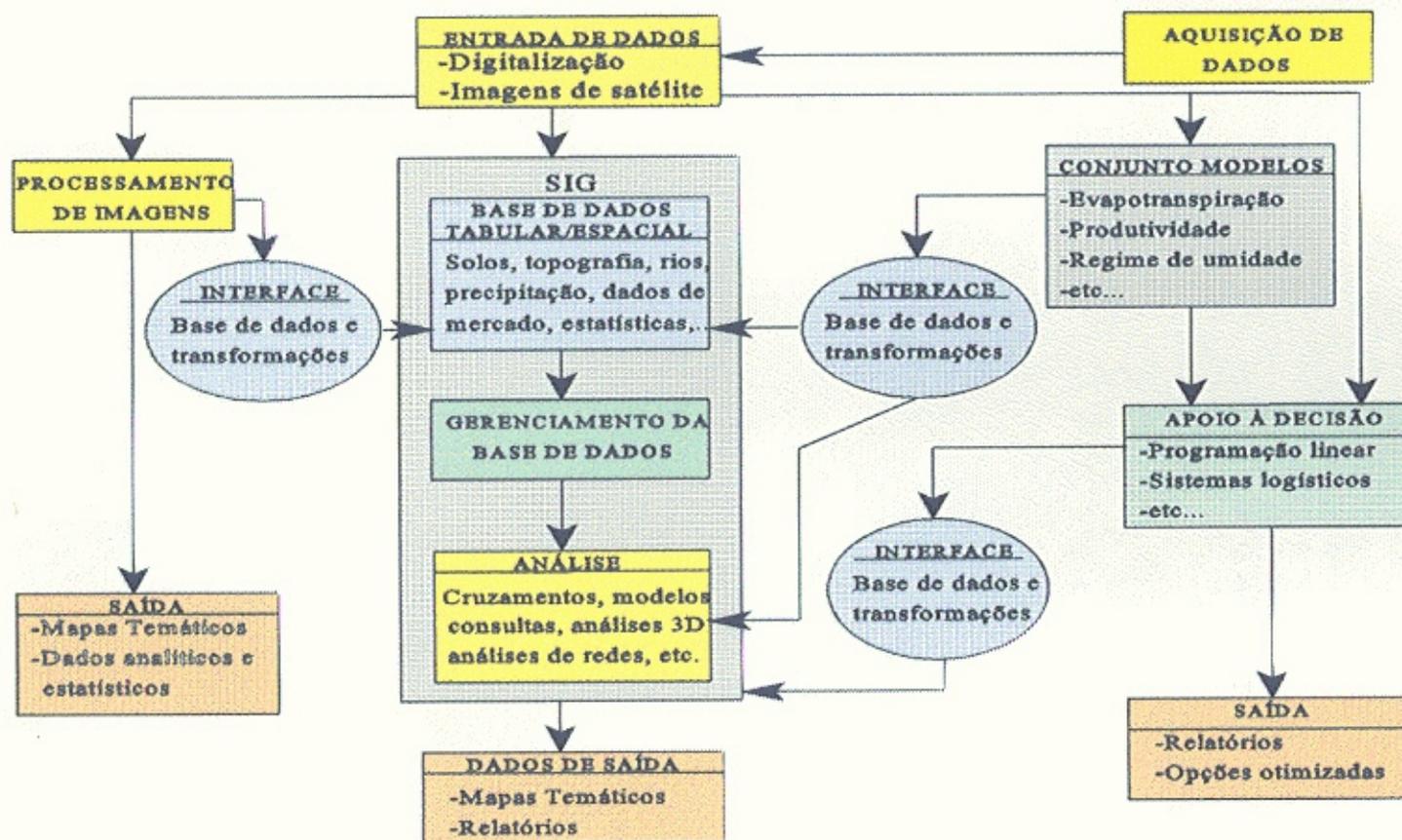


Figura 2.6. Diagrama de fluxo da operacionalização de um SIG (Adaptado de Antoine, 1990).

2.3.SIG para o planejamento na agricultura

O grande número e os interrelacionamentos complexos das variáveis que afetam a produção agrícola dificultam a integração das mesmas por métodos convencionais, elevando o tempo necessário para sua análise e obtenção dos resultados esperados e a subjetividade nos procedimentos. A capacidade dos SIG de integrar informações de origens diversas tem demonstrado o potencial cada vez maior desses sistemas para aplicações voltadas ao planejamento em áreas agrícolas. É impossível contemplar todos os temas que podem ser beneficiados com o uso desses sistemas, mas o texto a seguir descreve alguns dos principais conjuntos de aplicações.

2.3.1.Planejamento em Microbacia Hidrográfica

No Brasil os cursos d'água vêm sofrendo uma constante contaminação com sedimentos minerais, resíduos químicos e material orgânico, acarretando inúmeros prejuízos ao ambiente e à saúde humana. A descarga de efluentes industriais e orgânicos nas áreas urbanas e a degradação da vegetação e do solo pela agricultura nas áreas rurais são as causas mais evidentes (Assad & Sano,1993).

A atividade agrícola, em particular, pode alterar sensivelmente o ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica, como vem acontecendo de fato em diversas regiões onde as lavouras são a atividade antrópica predominante. O uso e manejo inadequados provocam alterações nas características físicas do solo, resultando na sua compactação e erosão. Além da redução do potencial produtivo natural, grandes quantidades de fertilizantes e pesticidas químicos, aplicados muitas vezes a custos altíssimos, são perdidos junto com o solo. O transporte de várias toneladas por hectare todos os anos para o leito dos rios causa não somente o assoreamento mas também a poluição dos mananciais, cujos efeitos atingem tanto a água superficial quanto os aquíferos subterrâneos. A redução do reservatório de água do solo e da seção dos cursos d'água aumenta a ocorrência de enchentes e acentua os prejuízos à produção durante as estiagens (Claire et al,1994).

A degradação ambiental resultante da atividade agrícola varia de região para região em função do tipo de solo, clima, relevo e práticas de manejo adotadas pelos produtores. Seu controle depende de um adequado planejamento, buscando alternativas para

o aproveitamento integrado dos recursos naturais em cada propriedade rural e respeitando as condições ambientais e sócio-econômicas locais. O objetivo final é o aumento da renda e bem-estar social dos produtores através de uma produção ecologicamente sustentável, com a proteção e preservação do meio-ambiente (Martinez & Vanegas, 1994a).

Segundo Brasil (1987), a microbacia hidrográfica é a unidade geográfica ideal para o planejamento do manejo integrado dos recursos naturais relacionados à produção agrícola. Pode ser definida como a área fisiográfica drenada por um curso ou um sistema de cursos d'água conectados e que convergem, direta ou indiretamente, para um leito ou para um espelho d'água. Como componente e contribuinte de uma bacia hidrográfica maior, as alterações promovidas em sua superfície afetam diretamente o volume e a qualidade da água concentrada por essa bacia, que por sua vez exerce influência sobre vastas áreas a jusante.

A primeira etapa de trabalho envolvida no planejamento de uma microbacia, assim como na ordenação do espaço em qualquer área, é o seu diagnóstico, ou seja, seu inventário e avaliação. O diagnóstico compreende a caracterização fisiográfica e sócio-econômica, a identificação dos problemas da comunidade de produtores e das práticas de manejo atualmente utilizadas. Dois desses itens, as informações de meio físico e os dados sócio-econômicos, constituem a base para o planejamento (Lepsch et al, 1983; Martinez & Vanegas, 1994b).

A elaboração do mapa de meio físico permite o conhecimento das características e condições da área de estudo e a separação, mediante a sobreposição de diferentes mapas temáticos, de unidades do terreno biofisiicamente homogêneas e que não podem ser diretamente observadas no campo. Pelo tipo de dados envolvidos, isto é, informações referentes a diversos temas distribuídos espacialmente, o mapa de meio físico é de difícil confecção manual, principalmente em zonas heterogêneas, e representa uma etapa bastante lenta e onerosa. A utilização de um SIG para essa finalidade pode acrescentar sensíveis ganhos em velocidade, precisão e complexidade das análises efetuadas. Os recursos oferecidos por um sistema de geoprocessamento permitem o cruzamento, ou seja, a superposição simultânea de vários mapas mediante o emprego de operadores aritméticos e lógicos, principalmente "e" e "não" (Carrol & Morain, 1992).

As principais variáveis consideradas na caracterização fisiográfica são o tipo de solo, a declividade e o uso da terra, cada uma representada em um mapa temático próprio. Os mapas são digitalizados no SIG em planos de informação distintos, convertidos ao formato varredura e então cruzados para a obtenção das classes do meio físico. Em regiões muito heterogêneas a combinação de um grande número de classes em cada um dos mapas temáticos originais pode resultar num mapa de meio físico demasiadamente complexo, o que inviabiliza a interpretação e o planejamento. Quando isso for verificado convém fazer um agrupamento de classes para reunir aquelas com características e comportamento semelhantes. A simplificação pode ser conduzida sobre os mapas originais ou no produto do cruzamento dos mesmos, sendo este mais recomendável pois estar-se-á reunindo classes cujas características biofísicas são mais próximas (Assad & Sano, 1993; Goes et al, 1995).

Algumas vezes um dos mapas pode já se encontrar na forma digital ou ser derivado de produto digital existente, caso em que as etapas de confecção e digitalização tornam-se desnecessárias. Isso acontece com maior frequência com o uso da terra, cujo mapa pode ser obtido diretamente da classificação de imagens digitais dos satélites de recursos naturais, como Landsat e SPOT (Rosa, 1990; Chagarlamudi & Plunkett, 1993). Basta registrar a imagem, ou seja, executar o ajuste da mesma ao sistema de projeção cartográfica adotado nos demais mapas, e o mapa resultante da classificação pode ser importado diretamente para o SIG.

O mesmo verifica-se em relação ao mapa de declividade, que também não necessita ser confeccionado manualmente, desde que se disponha de cartas topográficas com escala e equidistância das curvas de nível compatíveis com a escala de trabalho. As curvas são digitalizadas e as declividades automaticamente obtidas através de rotinas para manipulação de MNTs disponíveis na maioria dos SIG. Essas rotinas geralmente utilizam uma janela de 3 por 3 "pixels" para estimar a declividade do "pixel" central a partir da elevação dos vizinhos. Em função disso, a declividade calculada representa uma superfície 1,6 a 2 vezes maior que a do "pixel" central dessa janela. Para obter produtos que melhor representem a realidade do terreno modelado, o cálculo das declividades deve ser efetuado sobre matrizes de elevação com resolução superior àquela do produto final desejado. Este, então, pode ser posteriormente gerado a partir de uma reamostragem do mapa de

declividades obtido (Lombardi Neto & Camargo, 1992; Chagarlamudi & Plunkett, 1993; Hodgson, 1995).

Quanto aos dados sócio-econômicos dos produtores pertencentes à microbacia, um SIG permite armazená-los em um banco de dados relacional e associá-los a uma planta cadastral digitalizada e geo-referenciada. Torna-se possível a realização de consultas ao banco, com a recuperação simultânea das informações dos produtores que satisfazem à condição especificada e a localização de suas propriedades na planta cadastral, visualizando-se o resultado graficamente. Além do mapeamento dos imóveis com uma característica determinada, a associação da planta cadastral com um banco de dados relacional permite automatizar a emissão de projetos técnicos, relatórios e receituário agrônomo, bem como a rápida e fácil atualização dos dados cadastrais, fiscais, físicos e sócio-econômicos dos produtores (Marques et al, 1993; Loch, 1993).

A integração do mapa de meio físico da microbacia com a planta cadastral imobiliária associada a um banco de dados alfanumérico, no ambiente de um SIG, auxilia numa melhor percepção da realidade na área de estudo e um maior controle sobre as variáveis envolvidas. Propicia, assim, a obtenção de importantes subsídios para um planejamento mais racional do uso do solo sem prescindir das limitações e aptidões de cada propriedade.

Há que se ressaltar que tanto os mapas originais quanto os derivados não são necessariamente empregados para uma única finalidade, mas para a realização de tantas operações quantas forem necessárias ou interessantes. O mapa de uso da terra, por exemplo, empregado anteriormente na caracterização fisiográfica, pode ser utilizado para o diagnóstico da situação atual da vegetação nativa em relação à sua distribuição original sobre a microbacia hidrográfica em avaliação.

A parcela de vegetação original desmatada, a área remanescente e sua localização geográfica constituem informação extremamente importante sob o ponto de vista de elaboração de estratégias para conservação ou exploração racional de flora e fauna e de estímulo à revegetação de nascentes e cursos d'água. Num SIG o mapa de desmatamento é obtido facilmente a partir do cruzamento do mapa de uso atual da terra com o da vegetação original, confeccionando a partir de fotografias aéreas ou imagens orbitais

anteriores à intensificação da atividade antrópica (Carrol & Morain, 1992; Assad & Sano, 1993).

Uma outra aplicação para integração de dados ambientais em bacias e microbacias hidrográficas, onde sistemas de geoprocessamento vêm sendo cada vez mais empregados, são os estudos de perda de solos. As abordagens do assunto vão desde a estimativa de parâmetros envolvidos nos processos erosivos e a quantificação de perdas até a deposição dos sedimentos e estimativa dos prejuízos causados a jusante pela massa transportada. Torna-se possível calcular declividades, caminhos percorridos pela água de escoamento, divisores de bacias ou sub-bacias hidrográficas e o cálculo de suas superfícies, além de outros fatores hidrológicos (Almorox et al, 1994; Claire et al, 1994).

Conforme Lombardi Neto & Camargo (1992), o modelo mais utilizado nas estimativas de perda de solo tem sido a equação universal de perda de solo, ou USLE, cuja formulação pode ser vista na equação 2.1.

$$A = K.R.L.S.C.P \quad (2.1),$$

onde A é a perda de solo média anual por hectare, K é o fator de erodibilidade do solo, R é o fator de erosividade da chuva, L é o fator de comprimento da vertente, S é o fator de declividade da vertente, C é o fator de cobertura vegetal e manejo de cultivos e P é o fator referente às práticas conservacionistas.

Os parâmetros da equação referentes à morfologia do terreno, fatores L e S, podem ser obtidos por modelagem numérica do terreno, que se baseia na manipulação de uma matriz de altitudes. Os fatores C e P podem ser especializados pela classificação de imagens de satélite ou interpretação visual de fotografias aéreas, correlacionando-se-as à verdade de campo. Os fatores K e R são obtidos, respectivamente, a partir de levantamentos de solos e de dados climáticos e, dependendo da escala, são passíveis de especialização através de métodos de interpolação de MNTs disponíveis no SIG (Maguire et al, 1992).

Como efetuado por Risso (1993) e Ruiz Posse (1995), depois de armazenados cada um dos parâmetros em planos de informação distintos, a sobreposição de todos com técnicas de geoprocessamento facilita a obtenção do mapa de erosão potencial. Dispondo-se

de valores de tolerância às perdas de solo, uma segunda operação permite chegar a valores de expectativa de erosão, com a geração e distribuição espacial das classes fixadas, conforme ilustrado no fluxograma da figura 2.7.

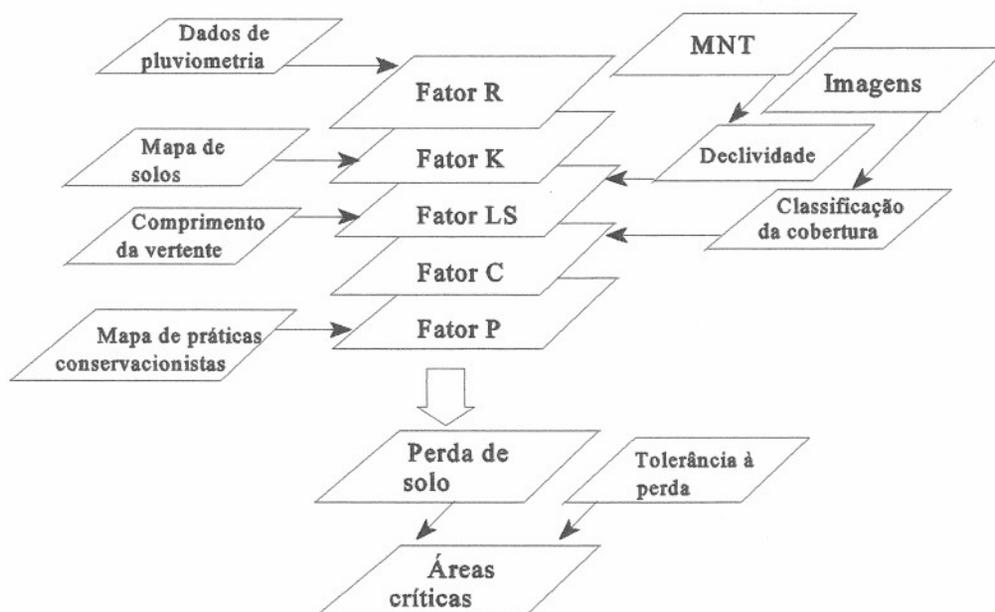


Figura 2.7. Fluxograma da estimativa de perdas de solo com SIG empregando a USLE (Adaptado de Risso, 1993).

A utilização de modelos desenvolvidos para finalidades específicas, como a USLE, em regiões geográficas e para propósitos diferentes daqueles para os quais foram criados, envolve sempre uma série de generalizações que, se não forem técnica e criteriosamente efetuadas, podem levar a usos e interpretações errôneas. O cálculo dos fatores da equação para estimar a perda de solo em uma bacia ou microbacia hidrográfica deve compreender a divisão da mesma em áreas de comportamento relativamente homogêneo. A soma da perda de solo estimada em cada área individual constitui o montante de solo removido de sua posição original, não podendo ser utilizada para prever a produção de sedimentos na bacia por causa da deposição que ocorre em diferentes pontos da mesma.

No caso da implementação em SIG, a utilização de um modelo de perda de solo com estrutura aditiva, onde cada variável não exerça influência sobre as demais como na USLE, poderia contribuir na redução dos erros do resultado (Wischmeier, 1976; Lombardi Neto & Camargo, 1992).

2.3.2. Monitoramento da Ocupação Agrícola

No Brasil a estimativa anual da produção agrícola ainda é feita na forma de questionários, que são aplicados diretamente aos produtores ou às entidades relacionadas à atividade agrícola em cada região. Atualmente os órgãos responsáveis pelo levantamento são a FIBGE e a CONAB.

A metodologia da FIBGE consiste em reunir mensalmente representantes de entidades relacionadas com a produção agrícola em cada região (Banco do Brasil, secretarias, cooperativas, empresas de extensão rural, etc...) para a coleta e análise das informações necessárias, que são posteriormente enviadas ao escritório central do Rio de Janeiro para um último ajuste. A CONAB adota uma metodologia semelhante, mas com interesse maior pelas regiões sul, sudeste, centro-oeste e o estado de Rondônia. Seus técnicos fazem periodicamente um percurso pré-estabelecido, passando pelos principais municípios de cada região. A coleta de informações também é feita nas entidades ligadas à produção agrícola, sendo os dados enviados depois ao escritório central de Brasília para o ajuste final (Assad & Sano, 1993).

A obtenção de dados precisos e confiáveis de grandes áreas através de questionários é muito difícil, além de ser demorada e onerosa. No território brasileiro, em função da extensão e peculiaridades regionais e sazonais, somadas à subjetividade intrínseca aos levantamentos por enquete, os resultados desse tipo de avaliação podem conter tantos erros a ponto de induzir com frequência os usuários a questionarem sua validade. Neste contexto, os recursos oferecidos pelas tecnologias do geoprocessamento e sensoriamento remoto podem contribuir significativamente à estruturação de sistemas mais eficientes e dinâmicos para a estimativa da produção agrícola nacional (Smith et al, 1987; Figueiredo & Collares, 1993).

Não foi por acaso que a criação do primeiro SIG operacional, surgido no Canadá ainda na década de 60, resultou de pesquisas para o acompanhamento e avaliação da agricultura. A disponibilidade de informações confiáveis sobre a área, distribuição e tipos de culturas implantadas é fundamental à tomada de decisões para o planejamento, definição de prioridades e projeções sobre o volume de recursos a ser liberado para o financiamento da produção, tanto por parte do setor público quanto do privado. Melhores subsídios são também obtidos para o estabelecimento de políticas de preços, manejo dos estoques reguladores do Governo Federal e do parque instalado para armazenamento da safra (Aronoff, 1991; Assad, 1993).

Uma boa estimativa da produção agrícola, seja em nível local, regional ou nacional, pressupõe o conhecimento detalhado de dois componentes: a área plantada com cada cultura e o seu rendimento. No que se refere ao levantamento da área plantada, pode-se considerá-lo como problema tecnologicamente resolvido, onde as imagens de satélite têm sido utilizadas corriqueiramente. Várias metodologias foram produzidas e testadas antes e principalmente durante a década de 80, inclusive no Brasil, gerando muitos resultados positivos. As abordagens incluem interpretação visual e classificação digital de imagens, análises multitemporais e correlação com dados de campo, em escalas que vão desde uma única propriedade rural até uma região inteira (Santos et al, 1988; Rodrigues et al, 1988; Almeida et al, 1990; Moreira et al, 1990; Sano, 1990).

A única ressalva a fazer nessa fase do monitoramento da ocupação agrícola é que, quando levado a efeito sobre grandes extensões territoriais de forma centralizada, o volume de dados a analisar e a dificuldade de obter imagens orbitais com cobertura de nuvens aceitável podem gerar resultados insatisfatórios ou difíceis de conseguir em tempo hábil. Por isso, convém fazer a quantificação da área plantada de forma descentralizada, associando-a a um SIG, em extensões menores como municípios ou microrregiões onde é possível um maior controle dos dados de campo. Os levantamentos ficam armazenados em meio digital e geocodificados, agilizando o acesso e possibilitando a integração a outros sistemas descentralizados para a estimativa da área plantada em nível de região ou país. Desde que todos os SIG estejam com sua base de dados referida ao mesmo sistema de projeção cartográfica, o resultado é rapidamente obtido pela soma de todos os municípios ou

microrregiões, obtendo-se o valor da área plantada e o mapa com sua distribuição espacial (Assad & Sano, 1993).

Quanto à determinação do rendimento das culturas, ao contrário do verificado para a área cultivada, ainda não há soluções operacionais para sua obtenção por técnicas de sensoriamento remoto. As tentativas de estabelecer relações simplificadas para esse fim ainda deparam com muitas dúvidas, decorrentes da dificuldade de medir diretamente nas imagens orbitais quatro variáveis, quais sejam a variedade selecionada, os componentes climáticos em escala regional, o tipo de solo e manejo e a ocorrência de pragas e doenças (Assad & Sano, 1993).

Alguns produtos derivados do processamento de imagens de satélite, todavia, têm demonstrado grande potencial para acessar e acompanhar as condições de desenvolvimento das plantas, como é o caso dos diferentes índices de vegetação obtidos por operações aritméticas entre as bandas do visível e infravermelho próximo ou médio de vários satélites. As melhores correlações encontradas com os índices de vegetação referem-se à produção de biomassa, indicando a possibilidade de monitorar, senão o rendimento, ao menos como as plantas se desenvolvem ao longo do ciclo, o que já constitui informação relevante. A existência de alguns resultados contraditórios evidencia a necessidade de ainda continuar a investigação científica a respeito desse tema (Riple, 1986; Thenkabail, 1994).

Uma alternativa a ser considerada ao uso isolado dos índices de vegetação é integrá-los a modelos agrometeorológicos de crescimento e rendimento das plantas ou modelos agrometeorológicos-espectrais, utilizando sistemas de geoprocessamento, o que permite a estimativa de dados mais confiáveis. Nesse sentido, tais sistemas constituem também um importante recurso em pesquisas envolvendo as relações planta-clima, possibilitando a implementação de modelos de simulação (Chagarlamudi & Plunkett, 1993).

Seja qual for o caso, os SIG propiciam suporte à geocodificação e à espacialização, ou seja, à elaboração de mapas dos dados meteorológicos pontuais coletados nas estações meteorológicas (Fontana, 1995). Desde que se disponha das coordenadas dessas estações, através de métodos de interpolação de MNTs, podem ser gerados mapas de isovalores (isolinhas) de cada variável meteorológica e, se necessário, mapas com a distribuição de intervalos desses valores. Com todos os mapas relatados ao mesmo sistema

de projeção cartográfica, a integração de um com os demais é direta e uma simulação pode ser efetuada com operações aritméticas, de sobreposição ou ponderação entre eles, incluindo-se o mapa dos índices de vegetação. A complexidade e o volume dos dados a serem manipulados nesse tipo de abordagem, entretanto, sugerem resultados operacionais somente a médio e longo prazos (Delécolle et al, 1992).

Uma abordagem mais empírica para determinação do rendimento é a estimativa baseada na análise de séries temporais, também com o auxílio de SIG. Numa descrição simplificada o método consiste em comparar as condições de crescimento (oferta climática) do ano em análise com as condições e rendimento obtido em anos anteriores, através do cruzamento de mapas utilizando as funções de manipulação desses sistemas. O procedimento pode ser repetido a intervalos de tempo regulares durante a estação de crescimento, conforme forem ocorrendo mudanças nas condições ambientais (Aronoff, 1991; Assad & Sano, 1993).

Seja qual for o método adotado na estimativa do rendimento, a utilização de variáveis meteorológicas, pela sua própria natureza, confere um caráter regional ao resultado. Este deve ser então multiplicado pela área cultivada em cada município ou microrregião para obter a produção esperada em cada um que, somada à dos vizinhos, resulta na produção total esperada na região ou país.

Os SIG não só oferecem recursos para auxiliar na estimativa da produção agrícola como podem também contribuir para reduzir os riscos de prejuízo, mediante o estabelecimento da melhor época de plantio. As variáveis meteorológicas devem ser escolhidas, em função da sua influência sobre o desenvolvimento inicial das plantas, espacializadas e, então, seus mapas cruzados com as necessidades da espécie de interesse. Esse estudo é feito sobre intervalos de tempo fixados dentro do período recomendado para o plantio da cultura. O resultado é obtido na forma de um mapa com as áreas mais e menos favoráveis ao plantio em cada intervalo, que pode ser utilizado na planificação da atividade agrícola para reduzir os danos à produção por parte das adversidades climáticas na época de implantação das lavouras. Dessa forma, o esquema de rotação de culturas e a melhor época de implantação de cada uma podem ser definidos com maior segurança e embasamento técnico (Assad & Sano, 1993; Chagarlamudi & Plunkett, 1993).

2.3.3. Avaliação de Terras

Pode-se entender avaliação de terras basicamente como um processo de estimativa do seu comportamento quando utilizadas para um fim específico, resultando na classificação da paisagem de acordo com a aptidão a tal fim. É um estágio muito importante nos estudos ambientais para fins de zoneamento e planejamento, uma vez que permite antever os resultados de impactos provocados por diferentes atividades antrópicas. Assim, é possível estabelecer alternativas de uso que satisfaçam as demandas da sociedade e reduzam a degradação ambiental, fundamentando o manejo conservacionista dos recursos naturais (Schultink, 1992; Assad & Sano, 1993; Martinez & Vanegas, 1994b).

De acordo com Ramalho Filho et al (1978), existem tantas metodologias quantas são as propostas de uso das terras por trás das avaliações executadas. A paisagem pode ser classificada, por exemplo, quanto às reservas minerais, quanto à viabilidade para obras de engenharia sanitária e rodoviária e quanto à aptidão agrícola da terra, entre várias outras. O nível de detalhe da classificação pode variar bastante em função da escala (local ou regional) em que for conduzido o estudo.

Uma das abordagens mais importantes é a avaliação das terras para fins agrícolas, buscando-se alternativas de uso que respeitem as disponibilidades e deficiências ambientais que afetam a produção para torná-la mais estável e sustentada. Nas condições brasileiras, em especial, onde a agricultura se expandiu de forma predatória pelas diferentes regiões e apresenta discrepâncias acentuadas quanto ao nível tecnológico, tanto regional quanto localmente, além de exercer grande peso na economia, a adoção de sistemas de avaliação para agricultura é de extrema necessidade no apoio ao planejamento racional de uso e ocupação do território (Formaggio et al, 1992; Gomes et al, 1993).

A maioria das metodologias para esse propósito baseia-se em levantamentos de solos, uma vez que estes refletem as interações da rocha de origem com o clima e os componentes bióticos da paisagem, fornecendo informações que permitem inferir a dinâmica ambiental. No Brasil dois sistemas são mais utilizados, o de classificação da capacidade de uso da terra e o sistema FAO/brasileiro de avaliação da aptidão agrícola das terras (Assad & Sano, 1993).

O sistema de classificação da capacidade de uso foi estruturado pelo serviço de conservação do solo dos Estados Unidos no início da década de 40, tendo influenciado todos os sistemas que se seguiram no aspecto do controle da erosão. A capacidade de uso indica o grau de intensidade de cultivo que se pode aplicar em um terreno sem que o solo sofra diminuição de sua produtividade devido à degradação. Ao todo são 8 classes de capacidade de uso, das quais as quatro primeiras se referem a terras para culturas anuais, as três seguintes a terras para implantação de pastagens, fruticultura e reflorestamentos e a última identifica terras impróprias para fins produtivos que devem ser destinadas à conservação de flora e fauna (Lepsch et al, 1983).

O sistema FAO/brasileiro de avaliação da aptidão agrícola de terras foi criado no Brasil no início da década de 60, apresentando características bastante inovadoras, como a introdução na sua estrutura de considerações sobre o nível de manejo conforme a tecnologia empregada. Pondera, também, a possibilidade de reduzir as limitações do solo a partir da adoção de técnicas e emprego de capital, segundo graus de viabilidade compatíveis com com o nível de manejo. Além disso, apresenta uma estrutura aberta, permitindo seu ajuste de acordo com as condições ambientais regionais e a geração de novos conhecimentos. No atual estágio são levados em conta como parâmetros do solo a disponibilidade de nutrientes para as plantas, presença de água e oxigênio à profundidade das raízes, existência de impedimentos à mecanização e suscetibilidade à erosão.

A classificação nesse sistema é feita em 6 grupos, essencialmente comparáveis às 8 classes de capacidade de uso, sendo que as limitações aos diversos tipos de utilização crescem com o número do grupo enquanto as alternativas de uso e a intensidade (nível de manejo) diminuem no mesmo sentido. Os grupos 1 a 3 indicam terras com aptidão para lavouras, os grupos 4 e 5, respectivamente, com aptidão para pastagem natural ou cultivada e silvicultura, e o grupo 6 designa áreas inaptas a outra destinação que não para preservação da natureza. As classes de aptidão empregadas para cada tipo de uso são boa, regular, restrita e inapta que, combinadas às opções de manejo com baixo, médio e alto nível tecnológico, resultam nos subgrupos de aptidão agrícola (Ramalho Filho et al, 1978).

Embora diferentes, ambos os sistemas de avaliação de terras exigem o cruzamento de um razoável número de variáveis, tarefa que se torna cada vez mais complexa conforme

aumenta a base de dados. Quando a origem e forma dos dados é distinta, como mapas, tabelas, fotografias aéreas e imagens de satélite, o estabelecimento de cruzamentos para todas essas informações torna-se ainda mais difícil e com um grau de subjetividade tal que pode comprometer a confiabilidade do resultado.

O emprego de SIG e de técnicas de sensoriamento remoto possibilita a redução da complexidade e subjetividade das estimativas, além de maior rapidez na obtenção dos resultados, em comparação ao processo executado manualmente. São gerados bancos de dados gráficos e codificados espacialmente, ou seja, amarrados a uma posição no espaço e a um sistema de coordenadas, e integrados dados de diferentes fontes, escalas e formas, promovendo ajustes e cruzamentos simultâneos de um grande número de informações.

Com o auxílio dessas duas tecnologias a aplicação de métodos de avaliação de terras pode tornar-se infinitamente mais rápida e alcançar elevada precisão. O cálculo de áreas e a representação gráfica (impressão de mapas) ficam automatizados e o acompanhamento da variação espaço-temporal na superfície da região de interesse é facilitado, obtendo novos mapas a partir da simples atualização dos bancos de dados geográficos e alfanuméricos. Conta-se ainda com a vantagem de que tanto os dados originais quanto os derivados permanecem disponíveis em meio magnético, podendo ser indefinidamente utilizados para qualquer outra aplicação necessária (Gomes et al, 1993).

O resultado da metodologia de avaliação, por exemplo, pode ser imediatamente submetido a outro processamento para a obtenção da taxa de adequação de uso da terra, que representa, para uma determinada unidade da paisagem, os níveis de incongruência do uso atual do solo com relação ao seu uso potencial. Isso é feito mediante a superposição do referido mapa e do mapa de uso atual do solo, atribuindo-se pesos distintos às classes de cada um. Convém salientar que uma das formas mais rápidas e vantajosas de obter o uso atual é a interpretação visual ou classificação digital de imagens de satélite, o que reforça a integração cada vez maior dos SIG com o sensoriamento remoto nos estudos ambientais (Lombardi Neto & Camargo, 1992; Goes, 1995).

O mapa de taxa de adequação de uso constitui informação relevante, uma vez que o uso acima da aptidão ou potencial é uma das causas da perda de solos nas regiões agrícolas. Com o conhecimento da localização geográfica, extensão e o grau de inadequação

de uso nas áreas problemáticas, a elaboração de estratégias para atacar o problema é sobremaneira facilitada (Formaggio et al,1992).

Os mesmos dados empregados na avaliação de terras, acrescentados de mais algumas informações meteorológicas e de química do solo, podem ser também utilizados quando se deseja efetuar um zoneamento agroecológico. O zoneamento visa identificar áreas mais propícias à exploração com determinada atividade agrícola, combinando as qualidades da terra às exigências ambientais mínimas da espécie a ser cultivada. Para tal finalidade basta que sejam fixadas essas exigências e automaticamente as unidades da paisagem que as satisfaçam serão mapeadas. Obtém-se, assim, a localização e a extensão das áreas adequadas ao referido tipo de exploração, o que constitui precioso subsídio aos órgãos envolvidos no planejamento municipal ou regional, como prefeituras, cooperativas, empresas públicas e privadas e instituições de pesquisa (Antoine, 1990; Schultink, 1992; Marques et al, 1993; Zuviría & Valenzuela,1994).

2.3.4.Área Fiscal: Tributação

O ITR deixou de ser responsabilidade dos Estados e municípios a partir de 1964, com a edição da lei complementar nº 4504/64 - ESTATUTO DA TERRA e lei complementar nº 5868/72 - SISTEMA NACIONAL DE CADASTRO RURAL, passando à competência da União. Submetido à legislação Federal, o ITR passou então a ter tratamento homogeneizado em todo o território nacional, sendo que o órgão responsável pelo cadastramento dos imóveis rurais era o INCRA. A partir da criação da lei complementar nº 8022 de 12 de abril de 1990, a arrecadação do ITR e a promoção do cadastramento fiscal dos imóveis passou a ser atribuição da Receita Federal (Schneider & Loch, 1994).

Atualmente o ITR é arrecadado sobre o módulo fiscal de cada município e o levantamento dos dados cadastrais dos imóveis e proprietários rurais é efetuado sob a forma declaratória. De acordo com Brasil (1987), a lei nº 6746 de 10 de dezembro de 1979 apresenta a legislação tributária referente à área rural, conforme os seguintes artigos:

Art. 49 - As normas gerais para fixação do ITR obedecerão os critérios de progressividade e regressividade, levando-se em conta os seguintes fatores:

- I-valor da terra nua;
- II-a área do imóvel rural;
- III-grau de utilização da terra na exploração agrícola, pecuária e florestal;
- IV-grau de eficiência obtida nas diferentes explorações;
- V-área total, no país, do conjunto de imóveis de um mesmo proprietário.

Art. 50 - Para cálculo do imposto, aplicar-se-á sobre o valor da terra nua, constante da declaração para cadastro, e não impugnado pelo órgão competente, ou resultante da avaliação, a alíquota correspondente ao número de módulos fiscais do imóvel.

A coleta das informações na forma declaratória gera grande volume de dados não fidedignos, onde os produtores buscam reduzir a incidência do imposto aumentando enormemente o índice de utilização da terra, que se somam à evasão de recursos devido ao não pagamento. Levantamentos recentes revelaram que a União deixa de arrecadar o ITR de 91% dos imóveis acima de 10.000 ha e de 97,5% daqueles classificados como latifúndios. Em outras palavras, os grandes proprietários não pagam ITR e este, por sua vez, é inócuo como penalizador da manutenção de terras ociosas (Schneider & Loch, 1994).

Em virtude dessas deficiências, técnicos e políticos conscientizam-se cada vez mais da necessidade de modificar o cálculo do ITR, tornando-o mais racional, dinâmico e justo. Outra questão, também de extrema importância, é que o tributo a ser recolhido deveria voltar a ser do município gerador do imposto, pois é ele que tem as melhores condições de planejar seus domínios e fiscalizá-los. O ideal é estimar um valor tributário ponderado, que leve em conta tanto o potencial quanto as restrições naturais do imóvel para fins produtivos, passando necessariamente pela consideração das variáveis condicionantes. O primeiro passo neste processo consiste em elaborar uma base cartográfica adequada, a planta cadastral imobiliária, com a localização e definição dos limites de cada imóvel rural. Convém também que seja estruturado um banco de dados alfanumérico, contendo as informações descritivas fiscais e cadastrais atualizadas dos imóveis, através do uso de um SGBD (Seiffert & Loch, 1994).

Os SIG oferecem um precioso conjunto de ferramentas para a estocagem, manipulação, integração e atualização dos dois tipos de informação, permitindo um maior controle sobre a situação de cada propriedade. O emprego de técnicas de geoprocessamento

faculta a quantificação automática das áreas bem e mal aproveitadas em cada parcela, as quais multiplicadas por um peso e pelo valor da terra nua resultam no valor do imposto a ser cobrado. Essa quantificação é feita através do cruzamento da planta cadastral e informações descritivas com os mapas de vegetação nativa, considerada área inaproveitada pela legislação tributária, de aptidão de uso e de uso atual da terra. Somente assim, obedecendo métodos e padrões internacionais, conhecendo de perto a realidade físico-territorial e sócio-econômica, é possível reduzir a subjetividade e gerar informações confiáveis e precisas para arrecadação de impostos e o planejamento de cada região.

Apesar do custo de implantação relativamente alto, grandes benefícios são rapidamente obtidos com a estruturação do cadastro técnico rural no ambiente de um SIG. Em primeiro lugar, o que é mais importante para os órgãos de administração, ocorre sensível aumento no total arrecadado, em virtude da diminuição ou eventual ausência de falsidade nas declarações e conseqüente redução da sonegação, e também devido à retração na evasão de recursos por não pagamento. Em segundo lugar, uma tributação mais justa é aplicada aos proprietários, pois o potencial produtivo do imóvel será levado em conta. A elaboração do cadastro necessário para o cálculo traz ainda como conseqüência imediata a regularização jurídica dos imóveis, registrando os amembramentos, divisões ou transferências e propiciando um melhor controle e fiscalização do território (Loch, 1990; Loch, 1993).

3.MATERIAIS E MÉTODOS

3.1.Materiais

Os materiais que serviram como fonte de informação foram:

-uma imagem Landsat-5 TM, órbita ponto WRS 222.80 quadrante A do Sistema Landsat de referência, de outubro de 1990, em reprodução fotográfica com escala aproximada de 1:50.000 da composição colorida das bandas 3, 4 e 5, atribuídas respectivamente às cores azul, verde e vermelho;

-uma imagem digital Landsat-5 TM, da mesma órbita, com as bandas 3, 4 e 5, de 20 de março de 1992, armazenada em fita magnética CCT;

-quatro cartas do mapeamento sistemático em escala 1:50.000 da DSG, quais sejam: MI-2917/3 (Carazinho), MI-2933/1 (Espumoso), MI-2917/4 (Ernestina) e MI-2933/2 (Victor Graeff);

-questionário para levantamento de dados cadastrais por propriedade rural, contendo itens sobre informações técnicas e sócio-econômicas de cada produtor da área-piloto

O equipamento utilizado encontra-se disponível nas dependências do CEP SRM, e é composto por:

-estações de trabalho baseadas em plataforma microcomputador PC-AT 80486, sob sistema operacional DOS, com seus periféricos;

-unidade leitora de fitas magnéticas CCT Engespaço;

-mesa digitalizadora tamanho A1 Digigraf, compatível com padrão Summagraphics;

-traçador gráfico ("plotter") de uma pena Digicon, tamanho A1/A2;

-impressora colorida Hewlet Packard a jato de tinta.

Quanto aos programas, os utilitários dos quais se fez uso para a realização do trabalho são os seguintes:

-ambiente de sistema de informação geográfica SGI versão 2.4, com interface para banco de dados compatível com dBASE III e dBASE IV, desenvolvido pelo INPE;

-sistema de processamento de imagens digitais SITIM versão 2.2 e versão 2.4 desenvolvido pelo INPE;

-sistema de análise geográfica IDRISI para sistema operacional DOS versão 4.1 e IDRISI para sistema Windows versão 1.0.

3.2.Métodos

3.2.1.Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido em uma área piloto do município de Não-me-Toque, localizado no planalto médio do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas 28°21' e 28°34' sul e 53°40' e 53°57' oeste (figura 3.1), com a sede a uma altitude em torno de 520 m e uma área territorial aproximada de 360 km². O relevo é ondulado (figura 3.2) e os solos profundos e bem drenados, predominantemente Latossolos. A capacidade de infiltração natural é elevada e pode atingir até mais de 100 mm/h em alguns locais. A fertilidade e o pH são baixos, mas estas características podem ser facilmente corrigidas mediante adubação e calagem bem conduzidas, de forma a permitir o adequado desenvolvimento das plantas cultivadas. Quanto à estrutura fundiária, o município é considerado zona de minifúndio, pois a área média dos imóveis rurais é de 20 hectares.

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen (1948), é o Cfa ou subtropical úmido, o mais comum no território do Rio Grande do Sul. Não há a ocorrência de estação seca, ou seja, nenhum mês apresenta precipitação pluvial média abaixo de 60mm, e os verões são quentes, com temperatura média mensal do mês mais quente superior a 22°C. Estas condições podem ser constatadas nas figuras 3.3 e 3.4, construídas com dados da estação meteorológica de Cruz Alta.



Figura 3.1. Localização do município de Não-me-Toque no Rio Grande do Sul.

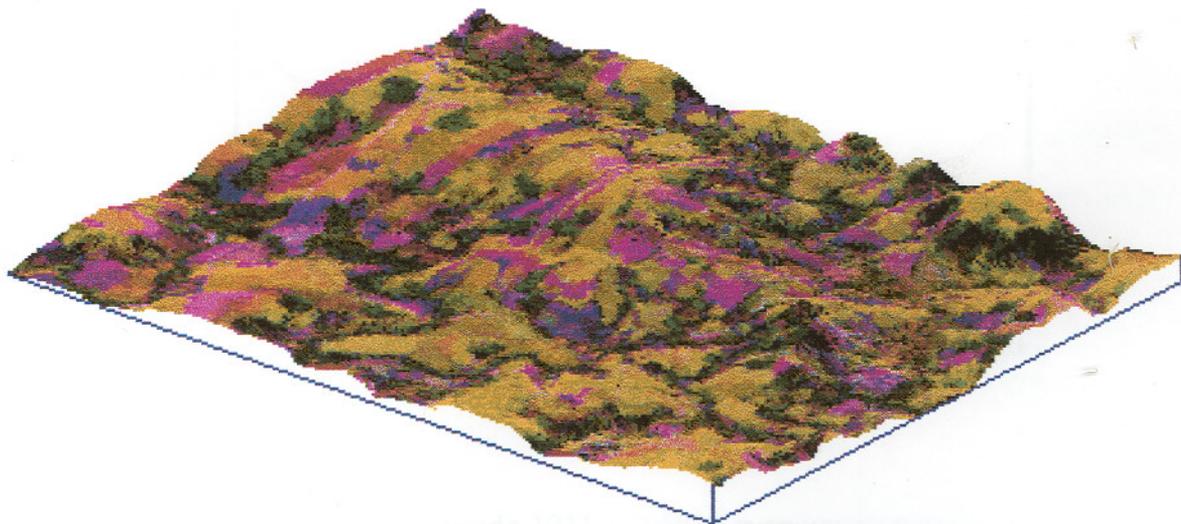


Figura 3.2. Vista em perspectiva do modelo digital do terreno da área de estudo, representando o relevo da região

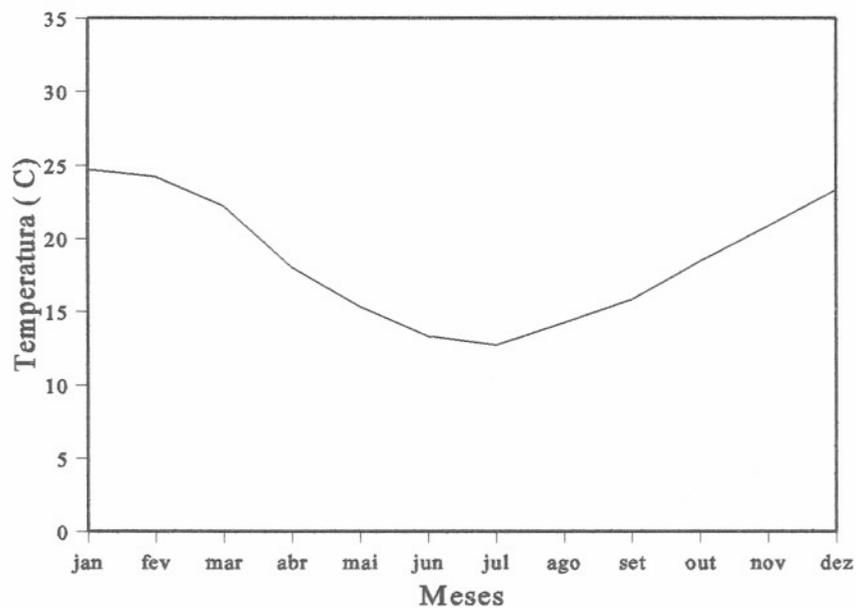


Figura 3.3. Temperaturas médias mensais de Cruz Alta (período 1931 a 1960).

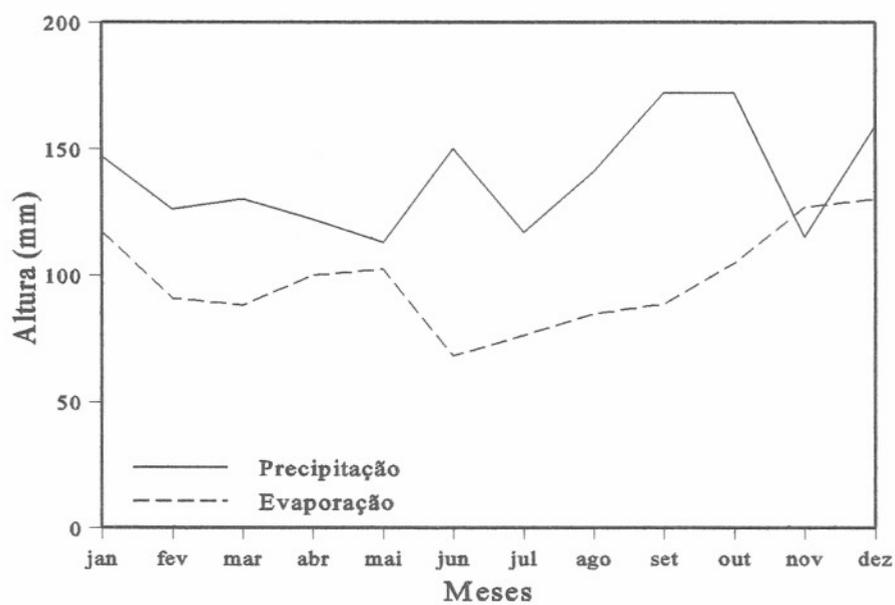


Figura 3.4. Precipitação mensal (período 1931 a 1960) e evaporação mensal (período 1957 a 1984) de Cruz Alta .

O regime pluviométrico elevado e bem distribuído, com precipitação média anual acima de 1700 mm, o relevo pouco acidentado e as boas características físicas do solo possibilitam o uso intensivo e o cultivo motomecanizado de espécies anuais em sucessão, com a obtenção de duas safras anuais. Esses pontos favoráveis à atividade agrícola tornaram a região do planalto médio, por vocação, uma grande produtora de grãos. A vegetação original de campos naturais e mata subtropical alta mista com araucária e mata subtropical alta, na maior parte, já deu lugar ao cultivo de trigo, soja e milho.

Optou-se por realizar o trabalho sobre uma área piloto, com a finalidade de reduzir custos e facilitar o trabalho de campo, além de obter-se um maior controle das informações levantadas. Adequadamente dimensionada, permite a inclusão da totalidade de situações existentes na vizinhança, evitando redundância de procedimentos e no armazenamento de dados. Com base no conhecimento dos técnicos locais foi escolhida como área-piloto a localidade de Linha São Paulo, situada no sudoeste do município de Não-me-Toque, na divisa com Colorado e Lagoa dos Três Cantos (figura 3.5).

A área é delimitada a leste pelo rio Colorado, a oeste pelo arroio Bonito, a sul pela confluência desses dois cursos d'água e a norte pela RS 451, e totaliza aproximadamente 17,35 km² de superfície. Apresenta variedade de atividades agropecuárias e de formas de exploração, com os imóveis variando de 4 a 70 hectares, pelo que sintetiza bem a realidade da região. A maior parte dos produtores rurais da localidade é associada à Cooperativa Triticola Mista Alto Jacuí Ltda (COTRIJAL), com sede no município.

O trabalho foi dividido em duas etapas, quais sejam a coleta das informações e subsequente confecção da base de dados e a manipulação dos mapas e bancos de dados alfanuméricos para a obtenção dos resultados desejados em três questionamentos. As aplicações realizadas compreendem a estimativa da necessidade de calcáreo para correção do pH do solo, o diagnóstico da mata nativa e a identificação das áreas mais sujeitas à degradação do solo na área de estudo.

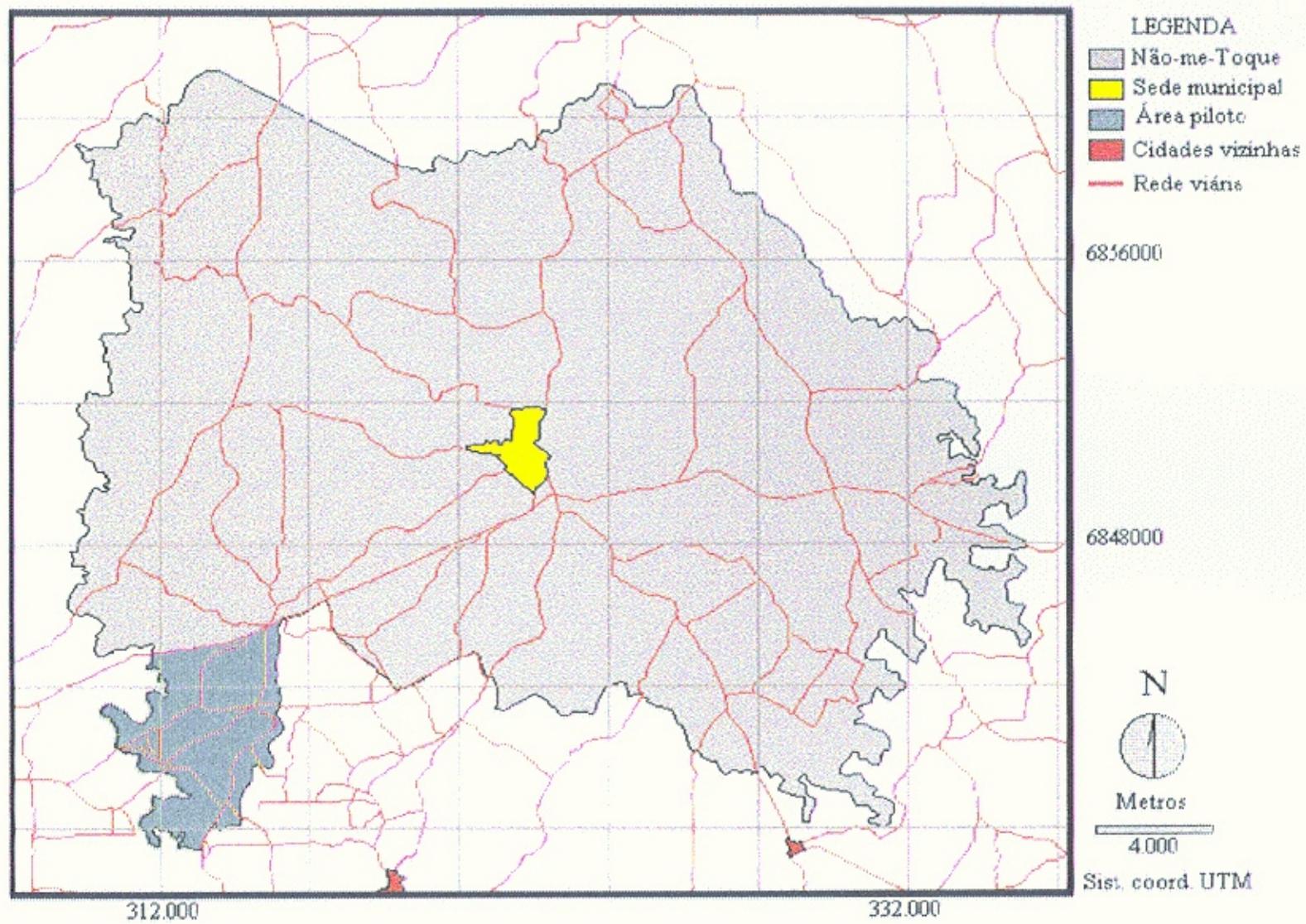


Figura 3.5. Localização da área piloto no município de Não-me-Toque

3.2.2. Confeção da base de dados

a) Elaboração do mapa fundiário da área piloto

O mapa fundiário da área piloto foi elaborado por interpretação visual da reprodução fotográfica da composição colorida da imagem Landsat-5 TM de outubro de 1990. A data de aquisição da imagem interpretada coincide com o período entre safras. É uma época marcada por grande heterogeneidade na cobertura do solo, aumentada ainda mais em decorrência das diferentes intensidades de preparo adotados pelos produtores da região. Aparecem campo nativo, pastagens cultivadas, áreas cobertas por invasoras devido ao pousio de inverno, glebas em variados graus de acúmulo de restos culturais e áreas em início de trabalho de preparo do solo.

Num primeiro passo, sobre um filme de poliéster transparente, extraiu-se das cartas as principais estradas e alguns cursos d'água. Em seguida, o mapa resultante foi colocado sobre a imagem colorida em reprodução fotográfica e orientado de acordo com essas feições. A partir de então procedeu-se à interpretação visual da imagem, registrando no filme de poliéster os limites identificáveis das propriedades, além de atualizar-se as estradas existentes na área de interesse.

Todo o trabalho de confeção do mapa fundiário foi executado na cooperativa, na presença e com o auxílio permanente dos técnicos que prestam assistência aos produtores. Por acorrerem periodicamente às diversas propriedades, os mesmos conhecem a existência de limites, divisões e amembramentos, tornando-se indispensáveis ao esclarecimento de dúvidas e, portanto, à obtenção de um produto cartográfico de qualidade satisfatória.

b) Entrada de dados gráficos no sistema

No SIG desenvolvido pelo INPE, utilizado para estruturar a base de dados deste estudo, os dados da região de interesse ficam reunidos em projetos. Um projeto corresponde a um referencial geográfico em particular, à escolha do usuário, e compõe-se de diferentes planos de informação (PI), ou mapas, cada um referido a uma mesma grandeza conforme a natureza da informação que representa (INPE, 1994). No projeto criado para o estudo em

questão adotou-se como referencial geográfico a malha de coordenadas UTM obtida das cartas 1:50.000.

A imagem Landsat digital de março de 1992 foi submetida a manipulações de histograma para ampliação de contraste, com o propósito de melhorar a qualidade visual da composição colorida das bandas 3, 4 e 5, atribuídas respectivamente às cores azul, verde e vermelho. Procedeu-se também à codificação da imagem, para reduzir a composição colorida a uma única banda, e ao geo-referenciamento das três bandas originais e da banda codificada com as cartas 1:50.000, obtendo-se assim quatro PI em formato varredura.

Foram ainda digitalizados quatro PI vetoriais, compostos por polígonos fechados, representando o mapa fundiário com os 67 polígonos que compõem a área piloto, o mapa com os limites da mesma, o dos limites do município e o das manchas urbanas, este último mais como referência para a posterior orientação sobre a área de interesse. Depois da digitalização dos arcos efetuou-se o ajuste das linhas e a poligonalização para montar os polígonos.

Com a finalidade de relacionar o mapa fundiário aos bancos de dados alfanuméricos, cada polígono do mesmo foi rotulado com o número de matrícula do respectivo associado na cooperativa. Visto que ocorrem efetivamente casos em que um produtor cultiva mais de uma área, seja por contratos de arrendamento, parceria ou outras formas de exploração quaisquer, utilizou-se um dígito decimal após o número de matrícula para designar cada uma delas. O rótulo é uma sequência de caracteres atribuída ao polígono e que serve como identificador único para a ligação deste com os dados tabulares, onde estão as informações descritivas do mesmo. No caso do SIG do INPE, a ligação de um PI com os bancos de dados é feita sobre o formato vetorial.

Foram digitalizados também outros dois PI vetoriais, compostos de polígonos abertos, com a representação da rede viária e da hidrografia. Na escala adotada eles constituem somente segmentos de linhas, inexistindo elementos de área, de forma que cada linha é um polígono distinto ao qual foi atribuído uma classe, de acordo com a feição que representa.

As curvas de nível das cartas 1:50.000, com equidistância vertical de 20 metros, também foram digitalizadas, constituindo um PI vetorial de categoria MNT. A partir das

curvas de nível foi interpolada uma grade regular, utilizando-se o método inverso da distância com peso 2 e amostragem isotrópica por octante e por cota. A grade foi depois refinada para obter uma imagem do relevo com resolução de 30 m.

c) Montagem dos bancos de dados alfanuméricos

A montagem dos bancos de dados alfanuméricos, contendo as informações técnicas e sócio-econômicas dos produtores, foi realizada no SIG do INPE. A interface para bancos de dados compatíveis com dBASE III ou dBASE IV apresenta uma série de funções para criação e manipulação de bancos, mas a estrutura das tabelas do banco de dados está restrita a um número máximo de 20 campos, com número de registros dependente da capacidade do disco rígido.

Em função disso, as informações contidas nos questionários aplicados aos agricultores tiveram de ser primeiramente organizadas e agrupadas conforme a natureza do assunto a que se referiam. As menos relevantes foram desconsideradas com o propósito de reduzir o volume de dados a introduzir no sistema.

Posteriormente criou-se as estruturas dos bancos, aproveitando a totalidade dos 20 campos possíveis, definindo-se a extensão e o formato de cada campo e o item a ser nele armazenado. O primeiro campo de cada banco foi destinado ao número de matrícula dos associados à cooperativa, que serve de ligação do banco de dados com os polígonos do mapa fundiário. O valor digitado em cada registro desse campo deve ser exatamente igual ao rótulo atribuído ao polígono correspondente no mapa fundiário, para não inviabilizar a manipulação envolvendo o referido PI e os bancos de dados. O segundo campo foi reservado ao nome de cada produtor e os 18 restantes à informações pertinentes, referentes ao ano-safra 1993/94. O preenchimento dos registros foi realizado via teclado.

Dos três arquivos que resultaram dessa etapa, um armazena os dados cadastrais de cada produtor, outro as informações referentes ao uso do solo e ao rendimento das culturas na propriedade e um terceiro os valores de fertilidade do solo, com os resultados da análise química do mesmo.

3.2.3. Manipulação dos mapas e bancos de dados

No presente estudo foram realizadas três análises relacionadas ao planejamento e gerenciamento de recursos em áreas agrícolas, cujos resultados constituem informação de valor relevante como subsídio à definição de estratégias por parte de cooperativas, secretarias municipais de agricultura e outros órgãos ou setores ligados ao tema..

a) Estimativa da necessidade de calcáreo para correção do pH do solo

A opção por efetuar a estimativa da necessidade de calcáreo em detrimento de outros insumos utilizados nas lavouras deu-se porque na maioria dos solos do Rio Grande do Sul a acidez constitui fator limitante de significativa importância no desenvolvimento das plantas, especialmente as leguminosas, que são mais sensíveis a baixos valores de pH. Sendo assim, a correção da acidez, através da calagem, é prática fundamental para a obtenção de maiores rendimentos, uma vez que neutraliza os efeitos tóxicos do alumínio e do manganês do solo e provoca uma melhora no ambiente radicular para as plantas absorverem os nutrientes essenciais disponíveis, elevando a disponibilidade de vários desses nutrientes.

A estimativa da quantidade de calcáreo necessária para a correção da acidez do solo foi baseada no PI do mapa fundiário e no banco de dados de fertilidade do solo associado ao mesmo. Antes, no entanto, procedeu-se a uma conferência do mapa fundiário anteriormente elaborado com a finalidade de identificar possíveis alterações ocorridas nos limites das propriedades rurais da área piloto. A verificação foi realizada na tela do computador, mediante a sobreposição do mapa fundiário à banda codificada da imagem digital e a cada uma das três bandas individuais, com o auxílio dos técnicos que conhecem a região, efetuando-se as correções necessárias por digitalização direta na tela.

Em seguida, as propriedades rurais da área piloto foram classificadas de acordo com o pH através de uma consulta ao banco de dados de fertilidade do solo. Arbitrou-se como limiar o pH 5,5, cuja escolha baseou-se não em critérios técnicos mas no conhecimento da região, onde sabe-se de antemão que os imóveis com pH superior a 5,5 foram recentemente submetidos à correção da acidez. Sendo assim, nos imóveis com pH inferior a 5,5 é que torna-se importante fomentar a calagem para obter um aumento na eficiência da produção.

Os dados tabulares recuperados na consulta foram utilizados para estimar a quantidade de calcáreo necessária à correção da acidez. Considerou-se, para tanto, a área média cultivada anualmente por produtor e a necessidade de calagem por hectare para alcançar o pH 6,5, fixado em função das exigências das espécies cultivadas na região, de acordo com as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo (1989).

b) Diagnóstico da mata nativa

A vegetação foi mapeada e quantificada a partir da classificação supervisionada da imagem digital, utilizando-se o classificador de máxima verossimilhança gaussiana e as três bandas. Esse classificador calcula uma função densidade de probabilidade multidimensional para cada classe fixada e avalia, em cada "pixel" da imagem, a probabilidade do mesmo pertencer às várias classes, atribuindo-o àquela que resultar na maior probabilidade calculada. As áreas da imagem utilizadas para o treinamento do classificador, ou seja, para a estimativa dos parâmetros da função máxima verossimilhança, foram escolhidas a campo, com auxílio dos extensionistas e da imagem Landsat colorida em reprodução fotográfica.

A imagem Landsat classificada foi depois submetida a um cruzamento com a imagem da área piloto, para a delimitação da área de mata nativa somente na região de interesse. Para isso, o polígono com os limites da área piloto teve de ser previamente convertido do formato vetorial para o formato varredura, tendo-se o cuidado de adotar a mesma resolução da imagem Landsat. O PI resultante do cruzamento foi submetido a um cálculo de áreas para quantificação da superfície ocupada pela mata nativa na área piloto e depois superposto com o mapa fundiário para a identificação visual das propriedades onde a ação antrópica sobre a mata nativa foi mais intensa.

c) Identificação das áreas mais sujeitas à degradação do solo

A identificação das áreas com maior risco de degradação física do solo baseou-se nos PI do MNT, do mapa fundiário, da mata nativa e dos limites da área piloto, além do banco de dados de uso do solo. Considerou-se áreas de maior risco todas aquelas onde o revolvimento do solo seja frequente e a cobertura vegetal, viva ou morta, reduzida na maior

parte do tempo, ou onde inexistam práticas conservacionistas como a construção de terraços.

O primeiro passo consistiu em isolar as áreas em função do tipo de manejo a que estão submetidas. Para isso os polígonos do mapa fundiário foram classificados através de uma consulta ao banco de dados de uso do solo, criando um PI com aqueles onde se adote, além do terraceamento, práticas de manejo como o plantio direto e o cultivo mínimo. Esse PI foi então convertido para o formato varredura, com uma resolução de 30 m, e superposto com o mapa da mata nativa obtido da imagem Landsat digital classificada. Obteve-se assim um PI com o mapa das áreas sem maiores problemas de conservação do solo, ou seja, com cobertura vegetal permanente (mata nativa) ou quase permanente e com mínimo revolvimento do solo.

Em seguida, a partir da grade refinada do MNT, foi feito o cálculo da declividade em cada "pixel" e seu agrupamento em três classes, quais sejam de 0 a 5%, de 5 a 10% e acima de 10%, gerando um PI com o mapa de declividades. Essas classes representam, respectivamente, os intervalos de declividade recomendados para a construção de terraços de base larga, de base média e de base estreita (Secretaria da Agricultura, 1985). O mapa de declividades foi então cruzado com as áreas bem manejadas para produzir um novo PI onde constam os imóveis sem problemas de conservação do solo e as áreas sob manejo ou práticas conservacionistas inadequadas subdivididas de acordo com a declividade.

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1.Estimativa da necessidade de calcáreo para correção do pH do solo

A sobreposição do mapa fundiário da área piloto, obtido por interpretação visual da imagem de outubro de 1990 em reprodução fotográfica, à imagem digital de março de 1992 evidenciou discordância nos limites de um dos imóveis. A diferença foi confirmada pelos técnicos locais, com base em trabalho de campo e no seu conhecimento da localidade, possibilitando a execução das correções necessárias no referido mapa e nos bancos de dados alfanuméricos a ele relacionados. No total foram individualizados 67 imóveis rurais, obtendo-se a versão final do mapa fundiário que está representado na figura 4.1.

A utilização de duas imagens orbitais recentes, obtidas em anos e épocas do ano diferentes, facilitou a identificação de variações no uso do solo e a consequente delimitação das propriedades rurais na localidade de interesse. Isso deve-se ao fato da maioria dos imóveis serem de tamanho reduzido, onde a necessidade de obter um retorno econômico que possibilite a sobrevivência dos agricultores induz à exploração intensiva das áreas aproveitáveis. A possibilidade de obter duas safras anuais com o cultivo de várias espécies em rotação e sucessão, como a soja e cereais de verão e de inverno, respectivamente milho e sorgo e aveia, cevada e triticales, resulta em grande variabilidade e heterogeneidade na cobertura do solo ao longo do ano. As diferentes intensidades de preparo adotadas pelos produtores nas áreas de lavoura, aliadas à ocorrência de outros tipos de exploração, como a manutenção de pastagens para pecuária leiteira, colaboram para acentuar ainda mais essas características.

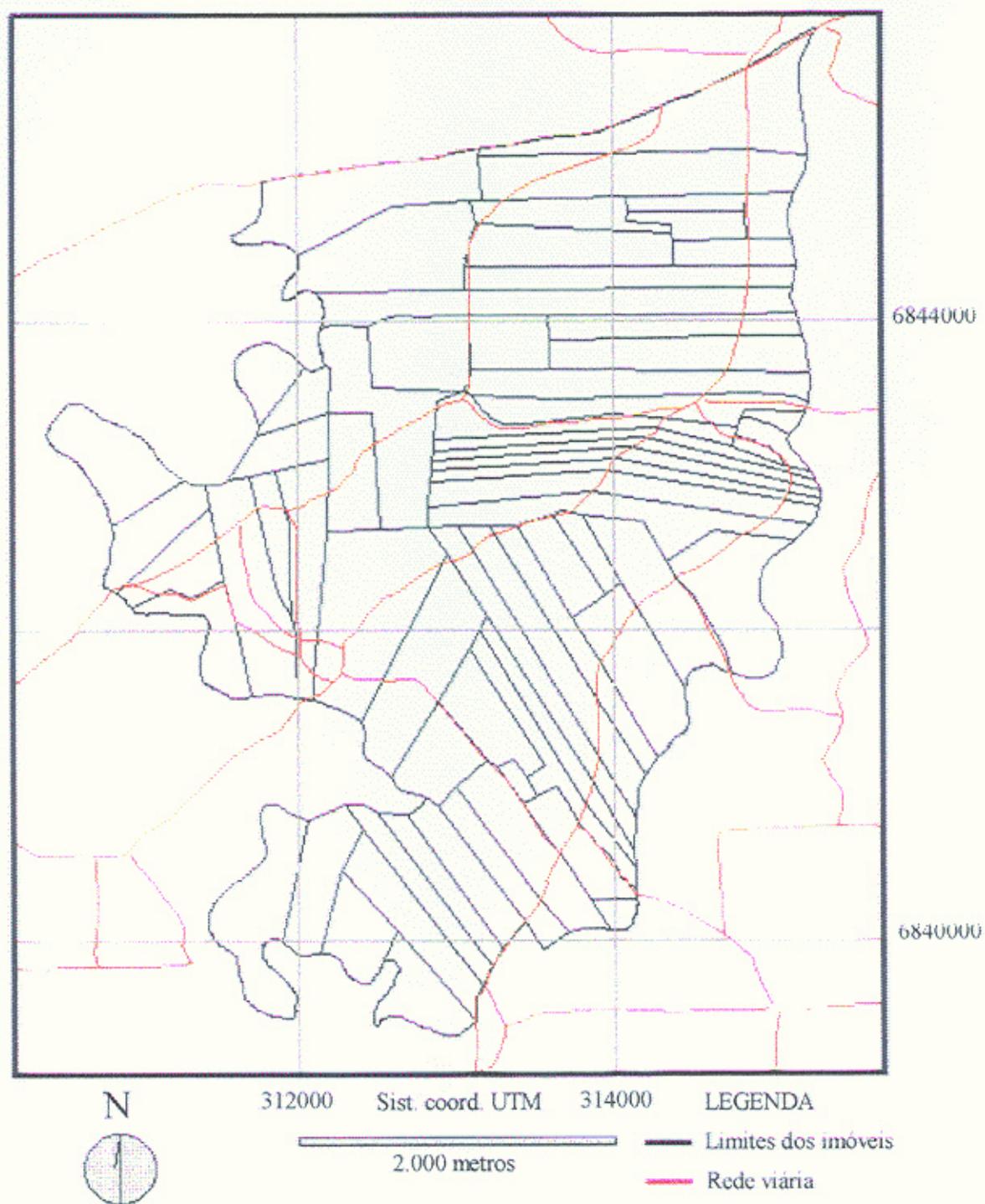


Figura 4.1. Mapa fundiário da área piloto obtido através de interpretação visual de duas imagens Landsat de anos e épocas diferentes.

Essa dinâmica de uso verificada na região é responsável por respostas espectrais distintas de uma área para outra em uma época determinada e entre épocas do ano diferentes, permitindo a identificação de contatos entre diferentes classes de uso do solo e, portanto, o mapeamento das unidades produtivas através do uso de imagens orbitais, como constatado também por Santos et al (1988), Loch (1990) e Rosa (1990).

No entanto, como discutido por Loch (1994), para o tamanho médio de 20 h das propriedades da região estudada, a escala de mapeamento 1:50.000 é inadequada para embasar o planejamento intra-propriedade, ou seja, não fornece detalhamento que permita planejar o uso das diferentes glebas de cada imóvel. Para essa finalidade é melhor efetuar um mapeamento detalhado a partir da estéreo-restituição fotogramétrica, o que, em função da desatualização das fotografias aéreas existentes, especialmente para zonas onde a estrutura fundiária é muito variável, exige a realização de um novo vôo fotogramétrico e implica em custos elevados.

Assim sendo, apesar de não constituir a solução tecnicamente ideal, o mapeamento da estrutura fundiária em escalas menores com o uso de imagens orbitais já representa um grande avanço em relação à situação atual, em que a distribuição espacial das unidades produtivas é praticamente desconhecida na maior parte das regiões.

A estimativa da necessidade de calcáreo para correção da acidez, efetuada após a correção do mapa fundiário, está constituída de dois produtos. Um é o cálculo da quantidade de calcáreo necessária, cujo resultado encontra-se na tabela 4.1, junto com as informações recuperadas do banco de dados de fertilidade do solo, e o outro é o mapa com a localização dos imóveis classificados de acordo com a disponibilidade de análise química e valores de pH, representado na figura 4.2.

Do total de 67 imóveis apenas 22 dispõem de análise química do solo, 14 dos quais com pH abaixo de 5,5. Conforme consta na tabela 4.1, a quantidade de calcáreo para suprir a necessidade de calagem dos 14 imóveis com pH baixo é de aproximadamente 1.500 toneladas. Como a calagem pode ser feita de uma única vez ou parcelando-se a dose recomendada durante vários anos, é necessário levantar primeiro o método preferido pelos produtores para poder planejar a aquisição do calcáreo. A associação do banco de dados ao mapa fundiário no ambiente de um SIG permite conhecer a localização dessas áreas, de

forma que a programação do trabalho de campo dos extensionistas para efetuar o levantamento do método de calagem pretendido pode ser planejado com maior eficiência, concordando com as vantagens observadas por Sano et al (1993) e Marques et al (1993) para a associação de mapas com bancos de dados em SIG.

Tabela 4.1. Produtores da área piloto com pH do solo inferior a 5,5 e quantidade de calcáreo necessária para correção, com base na recomendação de calagem para pH 6,5.

Matrícula	Produtor	Área cultivada (ha)	pH	Necessidade calagem(t/ha)	Calcáreo necessário (t)
13118	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	16,56	5,0	3,7	61,27
13760	XXXXXXXXXXXXXX	90,00	5,3	2,2	198,00
17196.1	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	10,00	5,4	2,7	27,00
17196.2	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	15,00	5,4	2,7	40,50
17196.3	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	10,00	5,4	2,7	27,00
17196.4	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	15,00	5,4	2,7	40,50
1917	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	6,00	5,0	3,8	22,80
21292	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	90,00	5,4	2,6	234,00
23317.1	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	18,00	4,9	6,0	108,00
23317.2	XXXXXXXXXXXXXX	16,00	4,9	6,0	96,00
35306	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	14,00	5,0	3,0	42,00
3919	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	43,00	5,0	4,5	193,50
6674	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	20,00	4,6	7,2	144,00
9562	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	45,00	4,7	6,0	270,00
TOTAL DE CALCÁREO					1.504,57

A localização das áreas sem análise química e as informações a elas referentes permite ainda a identificação das propriedades que devem receber atenção especial no que se refere ao incentivo à realização da análise e correção do pH do solo.

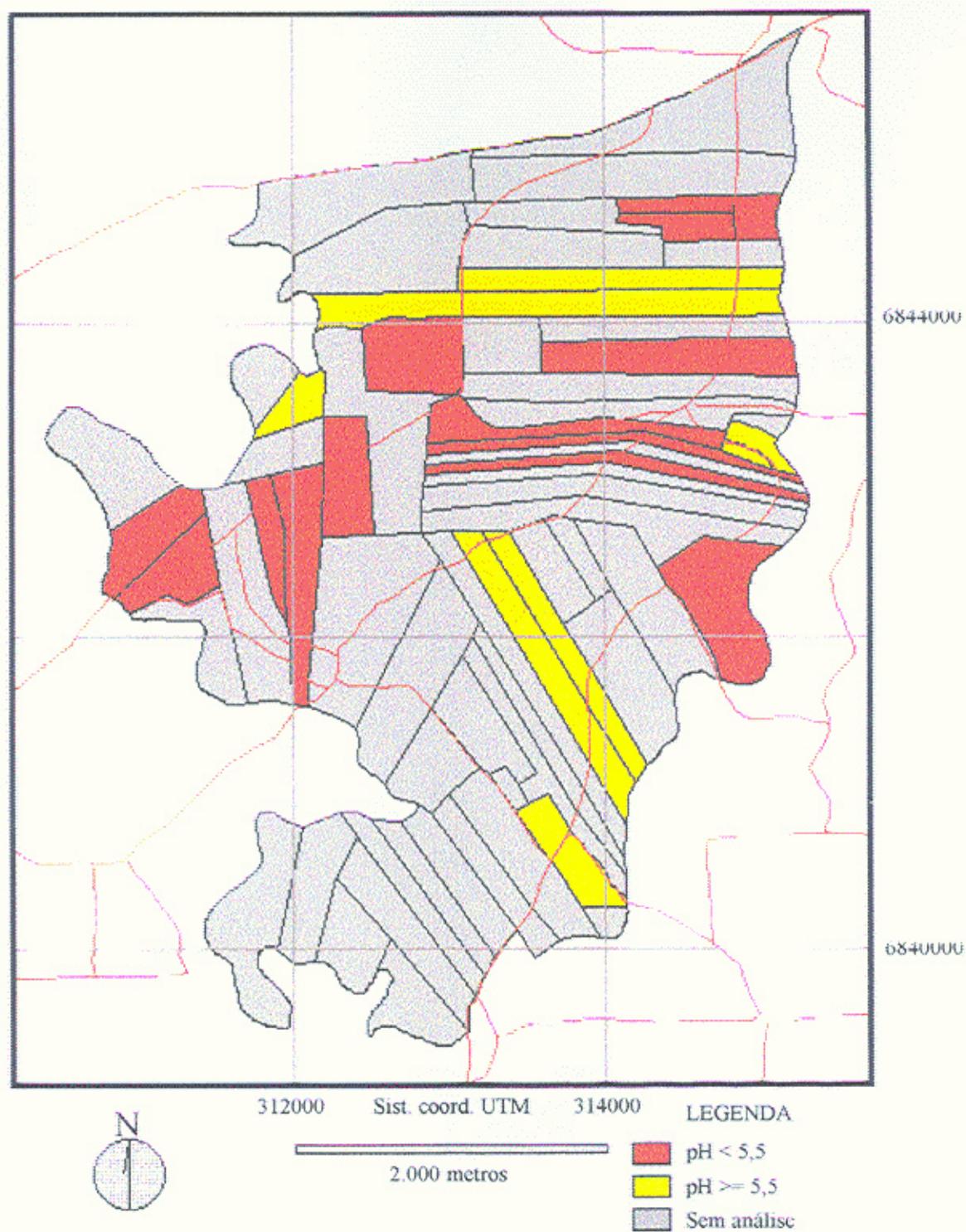


Figura 4.2. Propriedades rurais classificadas de acordo com a existência de análise química do solo e valores de pH do solo.

Destaca-se que os 45 imóveis sem análise química, que representam aproximadamente 67% do total dos imóveis da área piloto analisada, constituem uma proporção demasiadamente elevada para uma região de de intensa exploração agrícola como o Planalto Médio do RS.

O conhecimento da realidade de campo permite afirmar que esse dado não é representativo. Como a coleta das informações para estruturação do banco de dados foi efetuada pelos técnicos da cooperativa que assiste os produtores da localidade, em paralelo com suas atividades de rotina, é provável que muitos agricultores já tivessem no momento efetuado a correção e, por não disporem mais dos laudos com os resultados da análise química, ficaram sem esse atributo no banco de dados.

Esse contratempo, todavia, não diminui, e até reforça, o valor do resultado dessa consulta como indicador de áreas que apresentam algum tipo de problema. Uma vez conhecidas quais são, pode-se programar com antecedência as visitas dos técnicos para verificar se ocorreu realmente a falta de análise química do solo ou se apenas não existiam mais as informações desejadas no momento da coleta para a montagem do banco de dados.

O mesmo procedimento adotado com relação ao calcáreo pode ser repetido para outros insumos utilizados nas lavouras, estimando-se a quantidade de produto a adquirir com base na área plantada em cada imóvel e na previsão da necessidade de insumo por unidade de área. Isso facilita o gerenciamento dos estoques e a racionalização no uso das instalações para depósito desses materiais, possibilitando a redução de custos.

Caso fosse levada a efeito a estimativa de quantidades de adubo, por exemplo, o procedimento deveria ser mais criterioso que aquele para a necessidade de calcáreo, devendo-se considerar as espécies cultivadas no ciclo anterior, a quantidade de adubo a elas aplicado e a espécie e a área a ser cultivada na safra em questão.

4.2. Diagnóstico da mata nativa

A data de aquisição da imagem Landsat digital (mês de março) permitiu uma boa diferenciação entre a mata nativa e os demais tipos de vegetação presentes na cena, uma vez que ela permanece em plena atividade vegetativa enquanto as outras formas de cobertura vegetal apresentam nessa época baixa biomassa, gerando respostas espectrais distintas.

A superfície ocupada por mata nativa foi calculada em 375,57 hectares, o que perfaz 21,6 % dos 17,35 km² da área piloto. A distribuição espacial da mata na área de estudo, obtida da imagem classificada, está representada na figura 4.3. Percebe-se que, em geral, ela acompanha os cursos d'água, havendo locais em que sua ocorrência é bastante reduzida.

A sobreposição do mapa fundiário ao mapa de vegetação possibilita a identificação dos imóveis onde há possibilidade do tema classificado não representar fielmente a realidade (setas vermelhas) ou onde a ação antrópica sobre a mata nativa foi mais agressiva (setas pretas), como mostra a figura 4.4. Ambos constituem informação de caráter gerencial importante, já que apontam áreas com algum tipo de irregularidade.

As áreas com setas vermelhas diferem significativamente da exploração intensiva característica das propriedades rurais da região, onde dificilmente existirá uma com a maior parte de sua superfície coberta com mata nativa como nessas duas áreas. Convém verificar a campo a real situação das mesmas. As áreas mais desmatadas indicam os locais onde o trabalho de conscientização dos produtores rurais e de recuperação da vegetação deverá ser intensificado, visando reduzir o assoreamento e conservar a qualidade dos mananciais. O nome e demais informações dos proprietários das áreas de interesse podem ser recuperados através de uma consulta aos bancos de dados, facilitando a elaboração de estratégias para abordar o problema levantado.

A escala utilizada no trabalho e a resolução espacial das imagens Landsat não possibilitam análises mais detalhadas como, por exemplo, o cálculo da área de mata nas propriedades rurais particularmente pequenas da área de estudo ou da área de mata em condição de preservação permanente, como comentado também por Lombardi Neto & Camargo (1992). De qualquer forma, a aplicação descrita salienta algumas vantagens do uso de SIG para levantamentos desse tipo, especialmente no que se refere à rapidez, integração com outras informações e controle sobre extensões relativamente grandes. Análises em maior nível de detalhe baseiam-se nos mesmos recursos, apenas necessitando de mapas base em escalas maiores, que podem ser obtidos de imagens geradas por sensores de maior resolução espacial ou por topografia convencional.

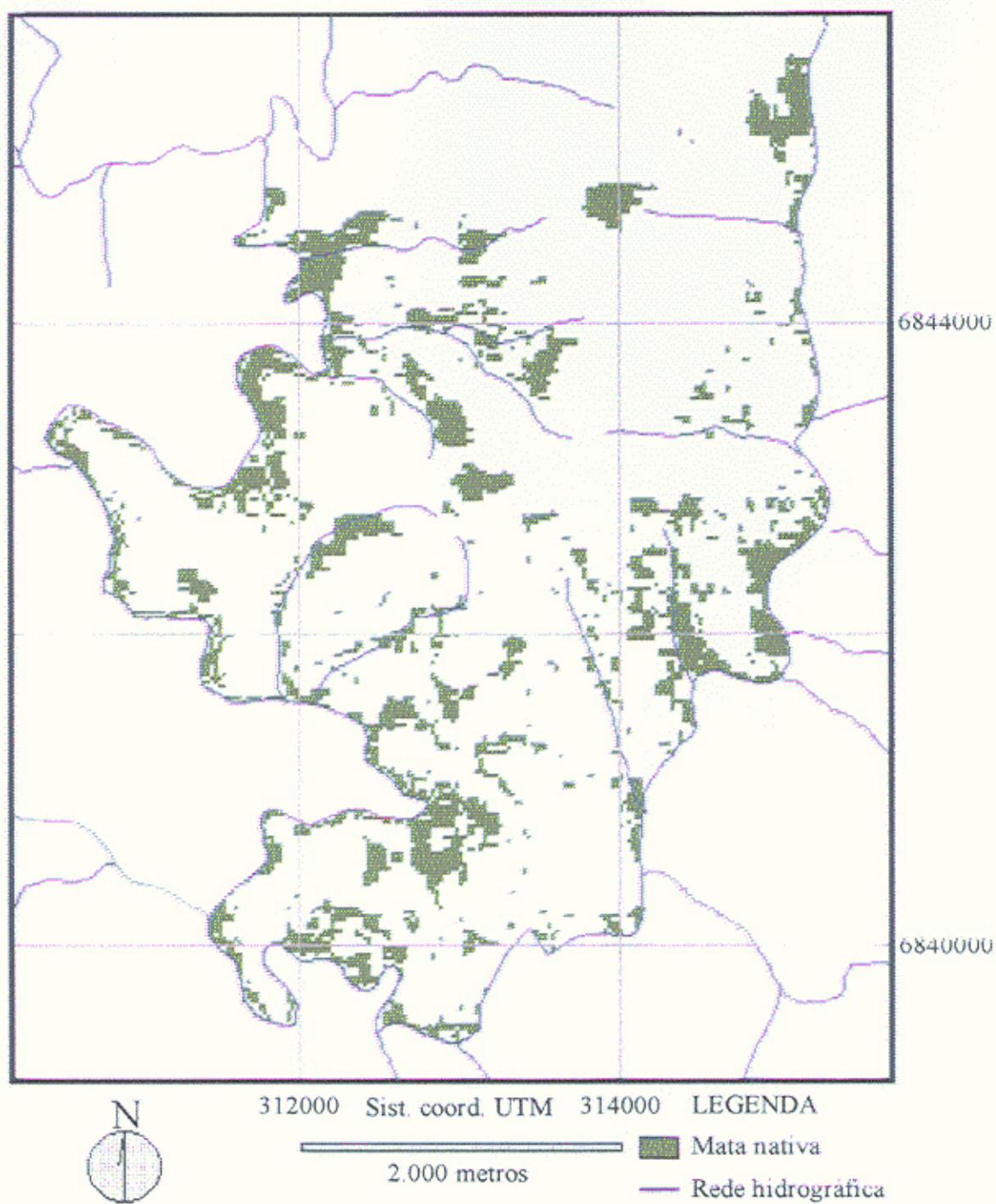


Figura 4.3. Distribuição da mata nativa na área de estudo.

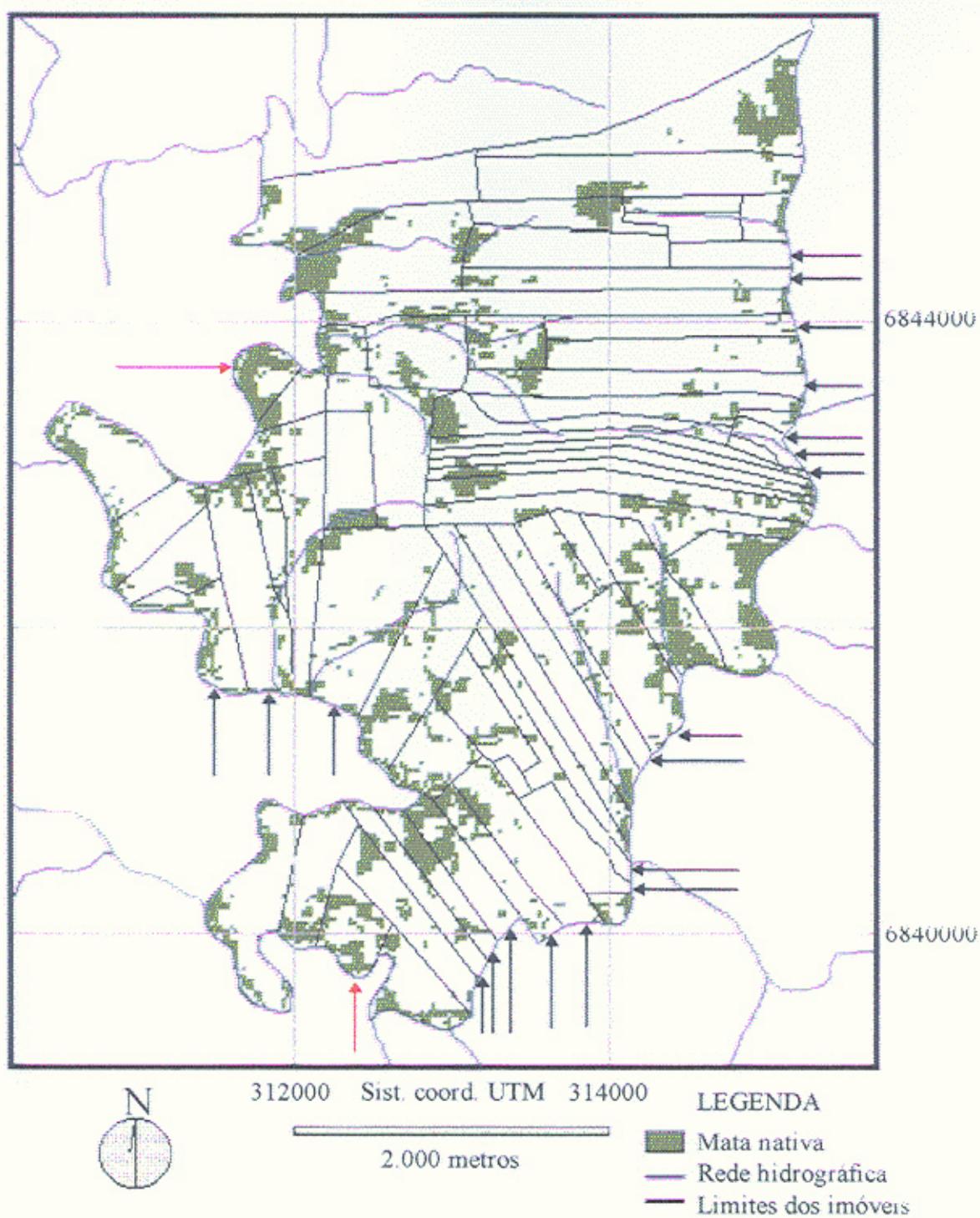


Figura 4.4. Distribuição da mata nativa dentro dos imóveis rurais da área de estudo.

4.3. Identificação das áreas mais sujeitas à degradação do solo

O mapa das áreas que não apresentam maiores problemas de conservação do solo, ou seja, com cobertura permanente ou quase permanente do mesmo, sobreposto com o mapa fundiário, está representado na figura 4.5. Esse mapa reúne a área ocupada pela mata nativa e aquelas propriedades rurais onde, além do terraceamento, outras práticas de manejo conservacionistas sejam levadas a efeito. Inclui-se aí o plantio direto e todas as formas de preparo reduzido do solo, que buscam a manutenção da cobertura vegetal morta como forma de evitar os efeitos destrutivos do impacto direto das gotas de chuva em sua superfície.

Verifica-se que apenas 25 dos 67 imóveis, ou seja, 37,3 % das propriedades analisadas, estão submetidas a sistemas de manejo que proporcionam maior cobertura e menor movimentação do solo (polígonos totalmente preenchidos de verde). Esse dado revela uma situação preocupante já que, apesar de existirem técnicas mais adequadas que o preparo convencional, a maior parte dos agricultores continua produzindo dentro de um esquema que não mantém a produtividade do solo a longo prazo. Sabe-se que a maioria dos produtores já adota o terraceamento como prática de conservação do solo, mas ainda são frequentes os problemas com erosão hídrica devido ao manejo inadequado entre os terraços, ocorrendo a perda efetiva de solo e de boa parte dos insumos aplicados anualmente.

A figura 4.6 mostra o mapa com as faixas de declividade de 0 a 5%, de 5 a 10% e acima de 10%, obtido do MNT gerado com as curvas de nível da topografia, e a figura 4.7 mostra o resultado do cruzamento do mapa de declividades com as áreas sob cobertura vegetal, sobreposto com o mapa fundiário.

O problema do pequeno número de imóveis submetidos a práticas de manejo conservacionistas é agravado pelo tipo de exploração e pela área reduzida de algumas propriedades, de forma que a implantação das lavouras muitas vezes desrespeita as limitações naturais do solo na tentativa de aproveitar ao máximo a área disponível. Como é visto na figura 4.7, alguns imóveis são demasiadamente estreitos, resultado de sucessivas divisões, impossibilitando qualquer sistematização do terreno para a adoção de um manejo mais apropriado.

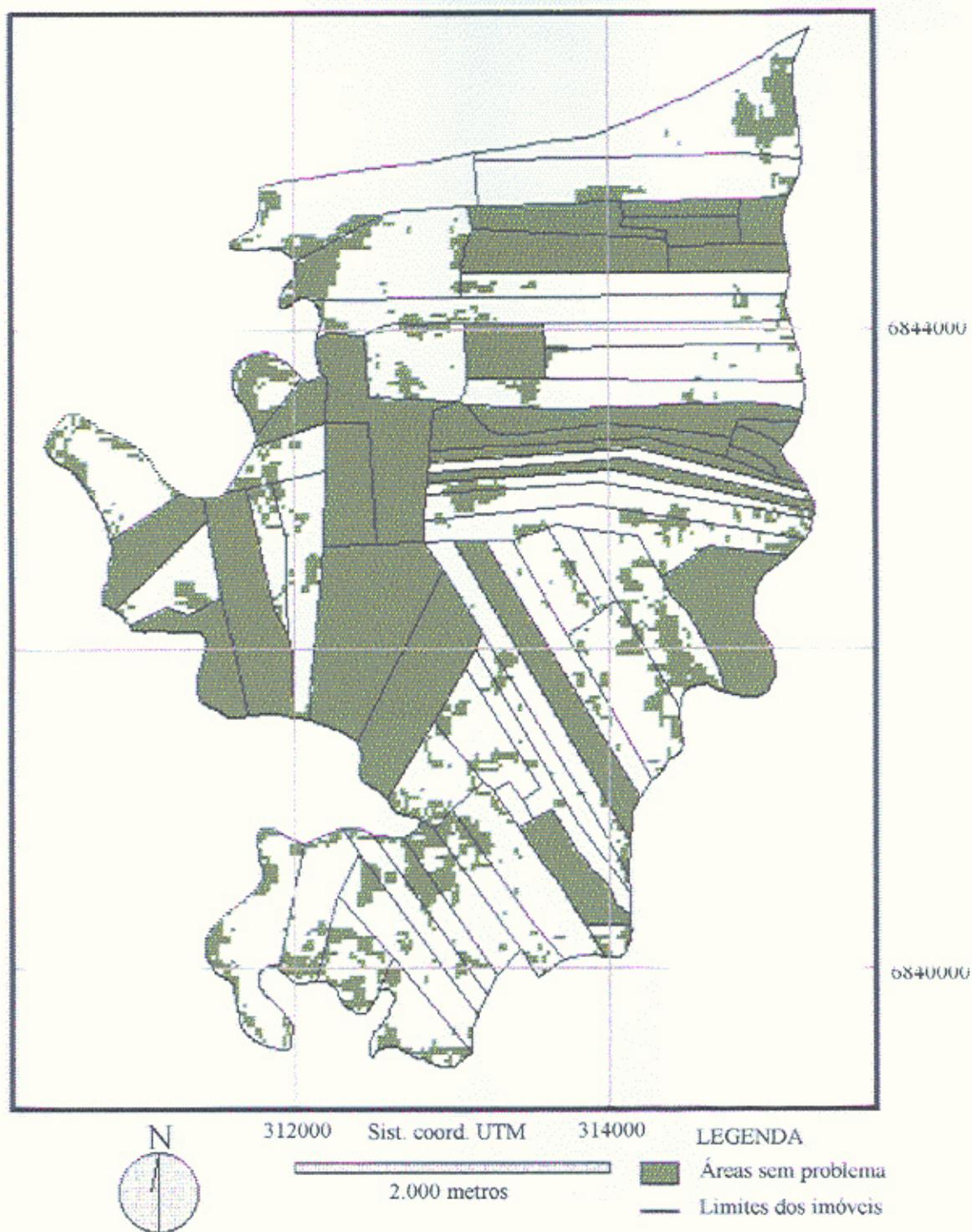


Figura 4.5. Áreas sem problemas de conservação do solo, mantidas com cobertura vegetal permanente ou quase permanente.

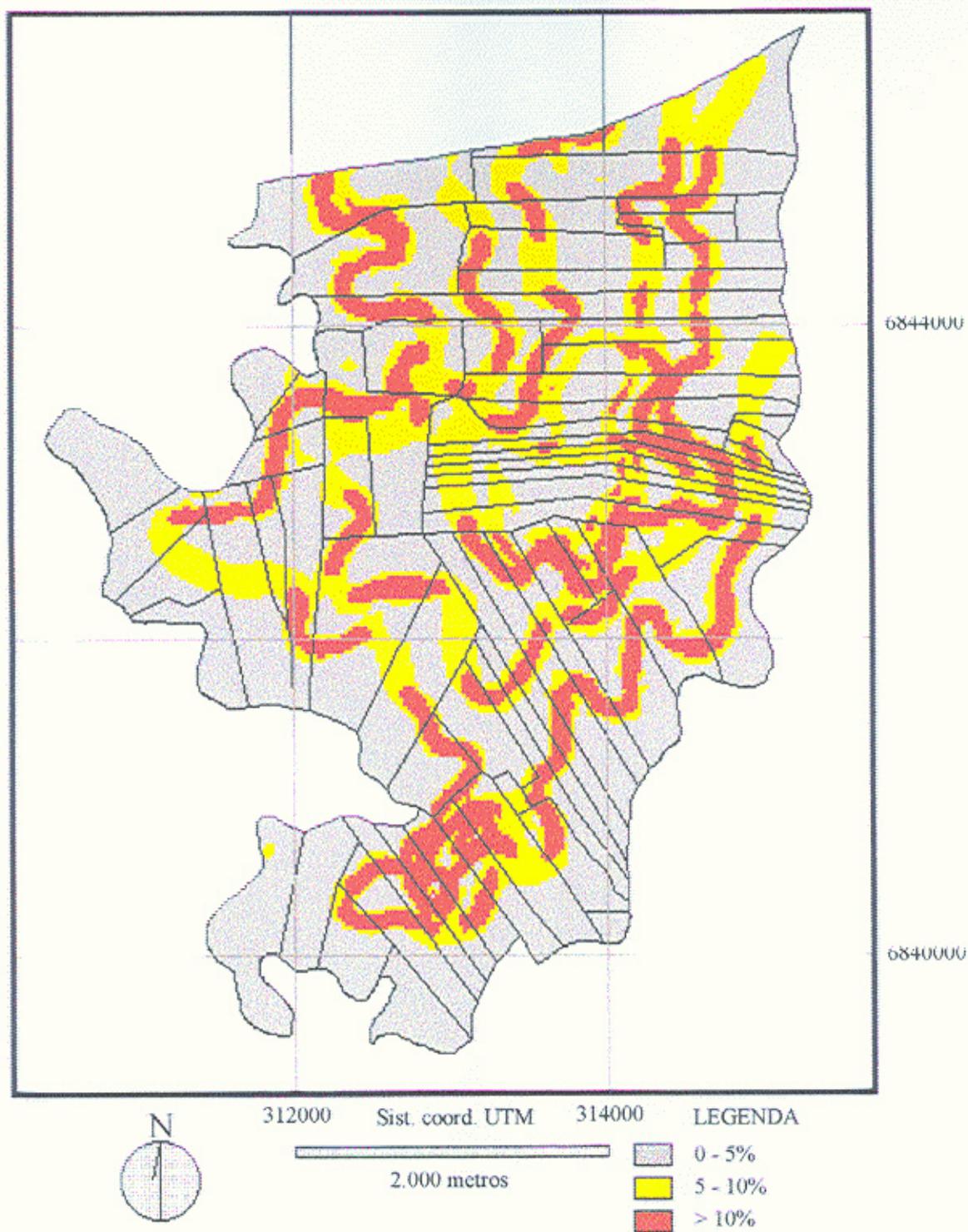


Figura 4.6 Mapa de declividades com as três classes consideradas para a recomendação de diferentes tipos de terraço.

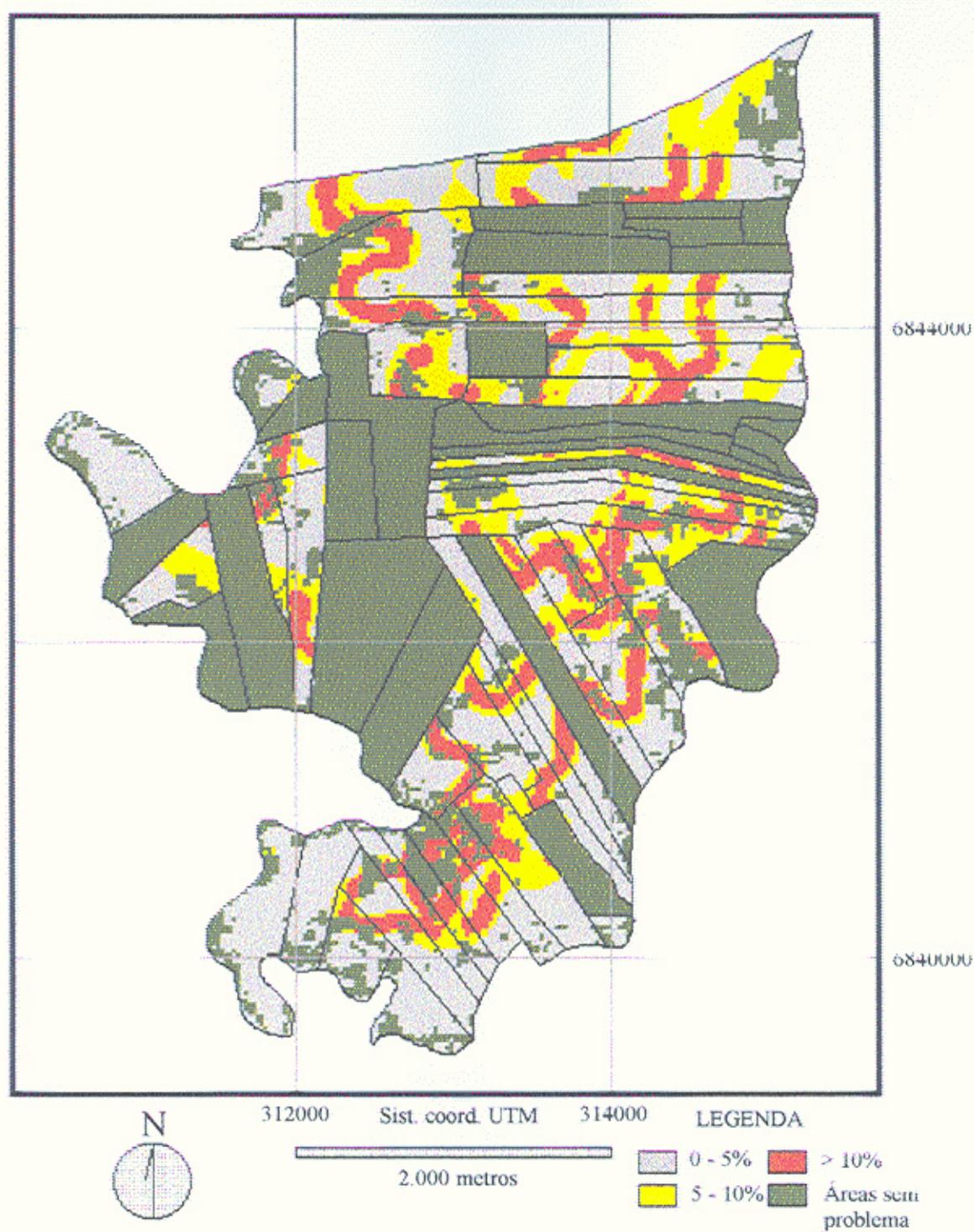


Figura 4.7. Áreas sem problemas de conservação do solo e áreas mal manejadas subdivididas nas três classes de declividade consideradas na recomendação de diferentes tipos de terraço.

Uma forma de definir prioridades para atacar o problema do manejo inadequado é ordenar os imóveis de acordo com a proporção de áreas declivosas mal manejadas em relação à sua área total. Define-se como mal manejadas as áreas declivosas exploradas com culturas anuais e sob sistemas de manejo do solo que não as protegem do impacto direto da água da chuva, representadas na figura 4.7 pelas classes de declividade 5-10% e >10% nos polígonos não totalmente preenchidos de verde.

Aquelas unidades produtivas com maior proporção dessas áreas devem receber atenção especial na difusão de técnicas agronômicas apropriadas, uma vez que não dispõem de locais alternativos para a implantação das lavouras como aquelas onde a proporção de áreas declivosas é menor. Essas propriedades precisam ser trabalhadas no sentido de buscar alternativas de produção que alcancem alto rendimento e propiciem um retorno econômico satisfatório sem degradar seus recursos naturais. A diversificação e maior tecnificação das atividades é um requisito que deve ser cumprido, como forma de manter seus proprietários no meio rural, ocupar eficientemente sua mão-de-obra e lhes agregar renda. Podem ser boas opções a pecuária de leite, a suinocultura, a avicultura, a apicultura e a piscicultura, atividades que a cooperativa local vem fomentando.

A proporção de áreas declivosas mal manejadas pode ser estimada examinando-se visualmente o mapa da figura 4.7, ou de forma automática, efetuando o cálculo das áreas de cada classe com o SIG. No presente caso optou-se pela análise visual, uma vez que a escala de trabalho e a resolução de 30 m utilizada não são recomendadas para o cálculo de valores absolutos em imóveis tão pequenos como os da área piloto, conforme destacado por Loch (1994) para o mapeamento da estrutura fundiária de zonas de minifúndio.

Com a localização geográfica dos imóveis mais problemáticos a realização de uma consulta ao banco de dados possibilita a recuperação do nome e demais informações de cada produtor, facilitando a determinação de estratégias para atacar os problemas de cada imóvel e metas a atingir, como evidenciado por Loch (1993).

À primeira vista os produtos gerados nessas três aplicações parecem respostas facilmente obtíveis por meio de um SGBD convencional, mas a associação dos dados tabulares a um sistema de referência espacial no ambiente de um SIG traz como uma das vantagens a possibilidade de visualizar geograficamente os resultados, o que também é

ressaltado por Gomes et al (1993), Marques et al (1993) e Sano et al (1993). Além disso, torna-se possível o cruzamento dos dois tipos de dados. Assim, quando uma consulta é feita não somente se recupera os dados referentes à condição fixada mas são também identificados os polígonos correspondentes num mapa, facilitando o reconhecimento e o planejamento da região enfocada.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados das aplicações realizadas demonstraram que um SIG pode ser uma ferramenta muito útil no acompanhamento, avaliação e planejamento da atividade agrícola, facilitando em grande medida a análise de problemas relacionados à produção pela possibilidade de armazenar, consultar e integrar dados de diferentes anos, formatos e origens.

A utilização de imagens orbitais para o mapeamento da estrutura fundiária e da mata nativa demonstrou que os produtos de sensoriamento remoto constituem uma fonte de informação para atualização de dados geo-referenciados rápida e razoavelmente segura, desde que acompanhados de um adequado controle de campo e respeitadas suas limitações para com a escala adotada. Para fins de planejamento no nível de detalhe considerado neste trabalho, as imagens podem significar sensível redução no custo de atualização e/ou confecção de uma base cartográfica. São também ferramentas especialmente úteis no monitoramento de temas da superfície terrestre com grande variação temporal, permitindo o registro da dinâmica das alterações na ocupação do solo e sua utilização no SIG.

Os maiores ganhos verificados no uso de um SIG para produzir as informações de interesse no presente estudo referem-se à velocidade na obtenção das respostas desejadas e à associação das mesmas a uma posição no espaço. Além da possibilidade de visualizar a abrangência e a intensidade de um fenômeno estudado, a disponibilidade da informação geo-referenciada para consultas traz ainda benefícios quando da eventual substituição de um profissional que atua no planejamento local. O registro da informação não fica mais restrito apenas ao conhecimento de campo que esse profissional dispunha, facilitando o reconhecimento da região por parte do substituto porque grande parte dos dados está armazenada no sistema.

O funcionamento adequado do sistema necessita de uma base de dados previamente estruturada, que pode representar investimentos relativamente elevados mas,

em contrapartida, é facilmente atualizável e permite a realização de um grande número de análises sobre a região de interesse. No caso dos dados alfanuméricos é recomendável efetuar a criação, preenchimento e atualização dos bancos de dados com um SGBD, de forma a se dispor de maior número de recursos de edição, e somente depois de elaborados utilizá-los para consultas com o SIG.

Em estudos futuros é interessante testar o desempenho de um SIG para uma região maior, ampliando a base de dados para os limites do município ou dos vários municípios vizinhos, já que sua eficiência foi comprovada em extensões como a área estudada. Outro item a dedicar especial atenção é a identificação do tipo de informação mais importante para diferentes níveis de detalhamento, podendo-se contemplar a criação de bancos de dados diferenciados para os níveis hierárquicos de imóvel rural, de localidade onde os imóveis se situam, de município e de região sob a influência do agente de planejamento interessado.

Quanto à escala de mapeamento, em casos em que o tamanho médio de propriedade for semelhante ao da região estudada, recomenda-se um mapeamento em escala 1:10.000 ou maior. Uma alternativa às fotografias aéreas para essa finalidade é o emprego de imagens orbitais de maior resolução espacial, que podem representar soluções satisfatórias.

6.BIBLIOGRAFIA

- Aguglino, R.; Rodriguez, M. 1994. *Evaluating public services and health assistance: delimitation and Application in a GIS*. ITC Journal, 1994-3, p. 205-210.
- Almeida, L. I.; Oliveira, L. G.; Bezerra, C. C. S. 1990. *Uso atual da terra com ênfase aos aspectos fitofisionômicos da região noroeste do Estado de Mato Grosso*. In: VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Manaus. Anais, vol. 2, p. 341-349.
- Almorox, J.; García, R. A.; Requejo, A. S.; Alvarez, M. C. D.; Montes, J. M. G. 1994. *Métodos de estimación de la erosión hídrica*. Editorial Agrícola Española. Madrid, España. 152p.
- Antoine, J. 1990. *Application of geographic information systems in land resources*. In: Report of 14th UN/FAO International Training Course in Cooperation with the Government of Italy. Roma. Itália. 299p.
- Aronoff, S. 1989. *Geographic information systems: a management perspective*. WDL publications. Ottawa, Canada. 294p.
- Assad, E. D.; Sano, E. E. 1993. *Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura*. EMBRAPA-CPAC. Planaltina, Brasil. 274 p.
- Assad, E. D. 1993. *Sensoriamento remoto e agrometeorologia: possibilidades de aplicação dos satélites meteorológicos na agricultura*. In: VIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Porto Alegre. Notas do curso "Uso do Sensoriamento Remoto em Agrometeorologia". 60 p.
- Brasil. Ministério da Agricultura. 1987. *Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas: Manual Operativo*. Brasília, DF. 60p.
- Burrough, P. A. 1992. *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Oxford University press. Oxford. 194p.

- Carrol, C.S.; Morain, S.A. 1992. *Defining biophysical land units for resource management*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. vol. 58, p. 1239-1244.
- Chagarlamudi, P.; Plunkett, G. W. 1993. *Mapping applications for low-cost remote sensing and geographic information systems*. International Journal of Remote Sensing. vol. 14, p. 3181-3190.
- Claire, B.; Maldonado, J.; Vargas, O.; Valenzuela, C.R. 1994. *A conceptual approach to evaluating watershed hazards: the Tunari Watershed, Cochabamba, Bolivia*. ITC Journal, 1994-3, p. 283-291.
- Clark, D. M.; Hastings, D. A.; Kineman, J. J. 1992. *Global databases and their implication for GIS*. In: Maguire, D. J.; Goodchild, M. F.; Rhind, D. W. 1992. *Geographical information systems. Principles and applications*. Longman Scientific & Technical, New York. 327 p.
- Comissão de Fertilidade do Solo. 1989. *Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. 2ª ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/EMBRAPA-CNPT. Passo Fundo, Brasil. 128 p.
- Cressie, N.A.C. 1993. *Statistics for spatial data*. Wiley Interscience, New York.
- Delécolle, R.; Maas, S. J.; Guérit, M.; Baret, F. 1992. *Remote sensing and crop production models: present trends*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. vol. 47, p. 145-161.
- Dobson, J. E. 1993. *Commentary: a conceptual framework for integrating remote sensing, Gis, and geography*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 59, p. 1491-1496.
- Egenhofer, M. J. 1992. *Why not SQL!* International Journal of Geographic Information Systems, vol.6, p. 71-85.

- Ehlers, M.; Edwards, G.; Bédard, Y. 1989. *Integration of remote sensing with geographic information systems: a necessary evolution*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 55, p. 1619-1627.
- Fabbri, A. 1992. Remote Sensing, *Geographic information systems and the environment: a review of interdisciplinary issues*. ITC Journal, 1992-2, p. 119-126.
- Figueiredo, D. C.; Collares, J. E. R. 1993. *PREVSAFRA - estimativa da produção agrícola*. In: VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba. Anais, p. 128-131
- Fisher, P. F. 1992. *Spatial data sources and data problems*. In: Maguire, D. J.; Goodchild, M. F.; Rhind, D.W. 1992. *Geographical information systems. Principles and applications*. Longman Scientific & Technical, New York. 327 p., p. 175-189.
- Fontana, D.C. 1995. *Índice de Vegetação Global para o monitoramento da vegetação e sua correlação com elementos agrometeorológicos e rendimento de grãos de soja*. Tese (Doutorado). UFRGS. 133p.
- Formaggio, A.R.; Alves, D.S.; Epiphanyo, J.C.N. 1992. *Sistemas de informações geográficas na obtenção de mapas de aptidão agrícola e de taxa de adequação de uso das terras*. Revista Brasileira de Ciência do Solo. vol. 16, p. 249-256.
- Frank, A. U.; Egenhofer, M. J.; Kuhn, W. 1991. *A perspective on GIS technology in the nineties*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. vol. 57, p. 1431-1436.
- Goes, M. H. B.; Xavier da Silva, J.; Ferreira, L. A.; Bergamo, R. B. A. 1995. *Potencial de extração de areia, áreas de incongruências de usos e impactos ambientais do município de Itaguaí (RJ)*. In: IV Congresso Brasileiro de Defesa do Meio Ambiente. Rio de Janeiro. Anais, p.358-371.
- Gomes, E.C.B.; Leite, F.R.B.; Cruz, M. L.B. 1993. *Aptidão agrícola das terras através de sistema de informações geográficas. Folha SB.24-X-A-I-4-Barreira*. In: VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba, PR. Anais, p. 132-139.

- Hodgson, M. E. 1995. *What cell size does the computed slope/aspect angle represent?* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 65, p. 513-517.
- INPE. 1994. *Sistema de informações geográficas SGI. Manual do usuário. Versão 2.4.* Engespaco Ind. e Com.. São Paulo.
- Jackson, M.J. 1992. *Integrated geographical information systems.* International Journal of Remote Sensing, vol. 13, p. 1343-1351.
- Johnston, C. A.; Detenbeck, N. E.; Bonde, J. P.; Niemi, G. J. 1988. *Geographic information systems for cumulative impact assessment.* Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 54, p. 1609-1615.
- Köppen, W. 1948. *Climatologia: con un estudio de los climas de la Tierra.* México. Fondo de Cultura Económica. 478 p.
- Lepsch, I. C.; Belinazzi Júnior, R.; Berolini, D.; Espíndola, C. R. 1983. *Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso.* Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Campinas, São Paulo. 175p.
- Loch, C. 1990. *Monitoramento global integrado de propriedades rurais (a nível municipal utilizando técnicas de sensoriamento remoto).* Editora da UFSC. Florianópolis. 136 p.
- Loch, C. 1993. *Cadastro técnico rural multifinalitário como base à organização espacial do uso da terra.* In: XVI Congresso Brasileiro de Cartografia. Rio de Janeiro. Anais.
- Loch, R. E. N. 1994. *Algumas considerações sobre a base cartográfica.* In: I Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Anais. Florianópolis, Brasil. p. 15-23.
- Lombardi Neto, F.; Camargo, O.A. 1992. *Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas.* Campinas. Documentos IAC, nº 29, p. 91-119.

- Maguire, D. J.; Goodchild, M. F.; Rhind, D. W. 1992. *Geographical information systems. Principles and applications*. Longman Scientific & Technical, New York. 327 p.
- Marques, J. N.; Braga, E. L.; Medeiros, J. S. 1993. *Utilização de banco de dados de solos integrado com o sistema de informações geográficas para identificação da aptidão edáfica das terras*. In: VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba. Anais, vol. 4. Brasil. p. 165-169.
- Martinez, L. J., Vanegas, D. E. 1994a. *GIS applications for spatial planning in the colombian Amazon region: a case study of the Guaviare colonization area. Part 1: diagnosis*. ITC Journal. 1994-3, p. 215-223.
- Martinez, L. J., Vanegas, D. E. 1994b. *GIS applications for spatial planning in the colombian Amazon region: a case study of the Guaviare colonization area. Part 2: evaluating alternatives*. ITC Journal. 1994-3, p. 224-232.
- Moreira, M. A. 1990. *Uso da expansão direta para estimar áreas de soja e milho através dos dados multiespectrais e temporais do Landsat/TM*. In: VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Manaus. Anais, vol. 3, p. 781-791.
- Oliveira, O. M.; Almeida, L. F. B. de; Fonseca, A. L.V. da; Cipriano, D.A. 1995. *Conversão de formatos de representação de mapas para SIGs: o exemplo do SAGA/UFRJ*. In: IV Congresso Brasileiro de Defesa do Meio Ambiente. Rio de Janeiro. Anais, p. 391-398.
- Parker, H.D. 1989. *GIS software 1989: a survey and commentary*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. vol. 55, p. 1589-1591.
- Ramalho Filho, A.; Pereira, E. G.; Beek, K. J. 1978. *Sistema de avaliação de aptidão agrícola das terras*. Brasília, DF. SUPLAN/EMBRAPA-SNLCS. 70 p.
- Riple, W. J. 1986. *Spectral reflectance relationship to leaf water stress*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. vol. 52, p. 1669-1675.

- Risso, A. 1993. *Obtenção e manipulação dos parâmetros da equação universal de perda de solos através de técnicas de geoprocessamento*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Brasil. 166 paginas.
- Rodrigues, R.L.V.; Valério Filho, M.; Mendonça, F.J.; Santos, R.; Rodrigues, L.F.H. 1988. *Determinação do incremento de áreas agrícolas através de imagens MSS-TM/Landsat*. In: V Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal. Anais, vol. 1, p. 195-203.
- Rodrigues, P. H.; Vilaça, S. 1994. *Subsídios para a utilização de geoprocessamento em sistemas municipais de informação*. Revista da Administração Municipal, vol. 41, p. 51-60.
- Rosa, R. 1990. *A utilização de imagens TM/Landsat em levantamento de uso do solo*. In: VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais. Manaus. Vol. 2, p. 419-425.
- Ruiz Posse, E. J. 1995. *Avaliação da erosão hídrica utilizando técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica*. Dissertação de mestrado. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. Brasil
- Sano, E.E., Watrin, O.S.; Funaki, R.S.; Medeiros, J.S.; Dias, R.W.O. 1990. *Mapeamento em semidetalhe (1:100.000) da cobertura vegetal e do uso da terra na microrregião de Tomé-Açu e alguns municípios das microrregiões do baixo Tocantins e Guajarina, Estado do Pará, através de imagens do TM Landsat 5*. In: VI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Manaus. Anais, vol. 2, p. 279-286.
- Sano, E. E.; Assad, E. D.; Bezerra, H. S.; Moreira, L. 1993. *Avaliação do sistema de informações geográficas SGI para tratamento de dados geoambientais de interesse agrícola*. In: VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba. Anais, vol.2, p. 428-437.