

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**GEOPROCESSAMENTO NA DETERMINAÇÃO DA  
CAPACIDADE E AVALIAÇÃO DO USO DA TERRA  
DO MUNICÍPIO DE BOTUCATU - SP**

**EDSON LUÍS PIROLI**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Câmpus de  
Botucatu, para obtenção do título de Doutor  
em Agronomia – Área de Concentração em  
Energia na Agricultura

BOTUCATU – SP

Março de 2002

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**GEOPROCESSAMENTO NA DETERMINAÇÃO DA  
CAPACIDADE E AVALIAÇÃO DO USO DA TERRA  
DO MUNICÍPIO DE BOTUCATU - SP**

EDSON LUÍS PIROLI  
Engenheiro Florestal

Prof. Dr. SÉRGIO CAMPOS  
Orientador

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Câmpus de  
Botucatu, para obtenção do título de Doutor  
em Agronomia – Área de Concentração em  
Energia na Agricultura

BOTUCATU – SP  
Março de 2002

"A glória é tanto mais tardia quanto mais duradoura há de ser,  
porque todo fruto delicioso amadurece lentamente".

(Arthur Schopenhauer)

À

Victória Helena e à  
Valkíria Luísa,

Dedico

## MENÇÃO ESPECIAL

À memória do Cláudio que fez mais curta sua vida para que a de outros pudesse continuar.

À memória do Nono Victório e da Vó Leonora, que partiram desta vida enquanto me encontrava em Botucatu elaborando esta Tese.

Aos meus pais Domingos e Ida, aos meus irmãos Marcos e Sílvia, ao meu cunhado Laurindo (Quéca) e à minha sobrinha Bruna que sempre apoiaram e incentivaram a busca e a conquista deste objetivo.

Ao Vô Fredolino, à Nona Otília, ao Tiene, Solange, Éder, Diana e Daiane; ao Chico, Sonia, Cátia e Cassiano; Ao Pereira, Tata, Paula e Letícia; ao Valter, Vani, Luciano e Cristiane; à Ione Navajas Dias e à Ione Trevisol Razera; à Elsbeth e ao Bolfe. Pessoas que souberam em diferentes momentos, a importância de uma palavra e de um gesto de apoio e de carinho.

À Adriana, grande companheira de sonhos e de vida, pelo apoio incondicional em todos os dias, meses e anos da década em que buscamos juntos nossos objetivos.

Aos amigos que antes e durante a faculdade, participaram do sonho que hoje se realiza: Leandro Piroli, Evandro C. Schenal, Antonio M. L. Bilhalva, Cristiane Raddatz, Alexandre F. Bordin, Alcides Gatto, Ivar Wendling, Patrícia P. Chaffe, Geedre A. Borsoi, Eloidir J. Gherardt, Darci K. de Bona, Míriam S. Saito, entre muitos outros.

## MENÇÃO HONROSA

A todos os agricultores deste País, que mesmo sofrendo todo tipo de golpes, seja da natureza, da economia ou da sociedade, resistem, suportam e continuam firmes na sua luta pela produção de alimentos, pela construção de um País melhor e pelo engrandecimento desta nação.

## AGRADECIMENTO ESPECIAL

Ao **Professor Dr. Sérgio Campos**, que sempre depositou confiança em minha pessoa, que aceitou o desafio de me orientar neste trabalho, de aprender mais, e sobretudo de progredir em minha caminhada nesta vida.

A **professora Dra. Célia Regina Lopes Zimback** pelas orientações, pela confiança, pela amizade e pela concessão dos materiais, equipamentos e laboratórios para a elaboração deste trabalho.

Ao **Eng. Agrônomo M.Sc. João Batista Tolentino Rodrigues** pelos ensinamentos referentes aos levantamentos de solos, pelas sugestões para a melhora deste trabalho, pelo apoio constante em todas as etapas do trabalho e pela amizade criada.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela oportunidade da vida e pela luz nos momentos difíceis.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Botucatu pela oportunidade de participar do Curso de Pós-Graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão de bolsa, fundamental no desenvolvimento desta tese.

Aos Professores Drs. Lincoln Ghering Cardoso e Zacarias Xavier de Barros pelos ensinamentos passados no decorrer deste trabalho e pela amizade construída.

Aos Professores Drs. Sérgio Hugo Benez e Kléber Pereira Lanças, Coordenadores da Pós-Graduação que disponibilizaram seu tempo e não pouparam esforços no auxílio dos alunos do curso.

Ao Departamento de Engenharia Rural e aos seus professores e funcionários pelo apoio e pela concessão de materiais, laboratórios e equipamentos para a realização deste trabalho.

Ao Departamento de Solos e aos seus professores e funcionários pela concessão de materiais, laboratórios e equipamentos para a realização das diversas análises que fizeram parte deste trabalho.

Aos colegas e amigos feitos durante o doutorado Fernanda, Renata, Lígia, Osmar, Rodrigo, Adriana, Cristiane, Débora, Juliana, Caetano, Ivana, Ana Tereza, Patrícia, Breda, Maria Cristina, Robson e Luís Fernando e aos demais que de uma forma ou de outra fizeram parte deste trabalho, pelas palavras de incentivo e pelo apoio em todos os momentos.



## SUMÁRIO

<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>1</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>3</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>6</b>
2.1 LEVANTAMENTO DO MEIO FÍSICO.....	6
2.2 CAPACIDADE DO USO DAS TERRAS.....	12
2.3 GEOPROCESSAMENTO COMO FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE USO DAS TERRAS .....	14
2.4 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS .....	16
2.5 IMAGENS DE SATÉLITE .....	17
2.6 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS).....	19
2.7 O SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS - IDRISI.....	20
2.8 INTERPOLAÇÃO DE ISOLINHAS (CURVAS DE NÍVEL).....	24
2.9 FILTRAGEM DE DADOS .....	25
2.10 CLASSIFICAÇÃO DO USO DAS TERRAS .....	26
2.11 AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA .....	28
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>32</b>
3.1 MATERIAL .....	32
3.1.1 <i>Descrição geral da área de estudo.....</i>	32
3.1.2 <i>Equipamentos e aplicativos computacionais utilizados .....</i>	35
3.1.3 <i>Base de dados .....</i>	35
3.2 MÉTODOS .....	36
3.2.1 <i>Delimitação e georreferenciamento da área de estudo.....</i>	36
3.2.2 <i>Levantamento dos solos.....</i>	39
3.2.3 <i>Levantamento das curvas de nível.....</i>	43
3.2.4 <i>Interpolação das curvas de nível.....</i>	45
3.2.5 <i>Elaboração do mapa de capacidade de uso.....</i>	46
3.2.6 <i>Levantamento do uso atual da terra.....</i>	52
3.2.7 <i>Avaliação da exatidão do mapeamento.....</i>	53
3.2.8 <i>Avaliação do uso atual com relação à capacidade de uso da terra.....</i>	54
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>55</b>
4.1 GEORREFERÊNCIA DA IMAGEM DO SATÉLITE LANDSAT 5 .....	55
4.2 DIGITALIZAÇÃO DO LIMITE DO MUNICÍPIO .....	57
4.2.1 <i>Área do Município de Botucatu.....</i>	57

4.3 LEVANTAMENTO DAS CLASSES DE SOLOS .....	57
4.4 LEVANTAMENTO DAS CLASSES DE DECLIVE.....	62
4.5 LEVANTAMENTO DAS CLASSES DE CAPACIDADE DE USO DA TERRA .....	65
4.6 LEVANTAMENTO DO USO DA TERRA .....	69
4.7 AVALIAÇÃO DO USO DA TERRA EM CADA CLASSE DE CAPACIDADE DE USO .....	73
4.7.1 <i>Uso da terra na classe IIIs</i> .....	73
4.7.2 <i>Uso da terra na classe IIIs,e</i> .....	75
4.7.3 <i>Uso da terra na classe IVs</i> .....	77
4.7.4 <i>Uso da terra na classe IVs,e</i> .....	79
4.7.5 <i>Uso da terra na classe IVe</i> .....	81
4.7.6 <i>Uso da terra na classe Va</i> .....	83
4.7.7 <i>Uso da terra na classe VIe</i> .....	85
4.7.8 <i>Uso da terra na classe VIIe</i> .....	87
4.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES .....	89
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>92</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>94</b>

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Qualidade da classificação associada aos valores da estatística Kappa.....	31
Quadro 2 – Coordenadas UTM dos locais onde foram coletadas amostras para análises físico-químicas dos solos.....	41
Quadro 3 - Intervalos de classe de declive para fins de conservação de solos.....	46
Quadro 4 – Quadro de julgamento das classes de capacidade de uso das terras.....	47
Quadro 5 – Atribuição de notas para os dois fatores contribuintes para a classificação do parâmetro “deflúvio”.....	49
Quadro 6 – Intervalos para enquadramento dos critérios de deflúvio.....	49
Quadro 7 - Limitações de uso para definição das subclasses.....	51
Quadro 8 - Cores características para representação de classes de capacidade de uso.....	51
Quadro 9 – Coordenadas de imagem e da projeção UTM utilizadas para georreferência da imagem.....	55
Quadro 10 - Análise granulométrica média das classes de solos identificadas no Município de Botucatu - SP.....	58
Quadro 11 - Análise química média das classes de solos identificadas no Município de Botucatu - SP.....	58
Quadro 12 – Classe de solo, área total e porcentagem coberta por cada classe no Município de Botucatu.....	60
Quadro 13 – Classes de declive e respectivas áreas no Município de Botucatu.....	64
Quadro 14 – Determinação das classes de capacidade de uso pelos critérios da tabela de julgamento.....	66

Quadro 15 – Área e percentual ocupado por cada classe de capacidade de uso da terra.....	68
Quadro 16 – Classe de uso da terra, área ocupada e percentual de cobertura do Município de Botucatu – SP.....	70
Quadro 17 – Resultados obtidos pelo índice Kappa para avaliação da exatidão da classificação do uso da terra no Município de Botucatu - SP.....	72
Quadro 18 – Classe de uso da terra, área ocupada e percentual de cobertura sobre a classe de capacidade IIIs.....	74
Quadro 19 – Classe de uso da terra, área ocupada e percentual de cobertura sobre a classe de capacidade IIIs,e.....	77
Quadro 20 - Classe de uso da Terra, área ocupada e percentual de cobertura sobre a classe de capacidade IVs.....	78
Quadro 21 - Classe de uso da terra, área ocupada e percentual de cobertura sobre a classe de capacidade IVs,e.....	81
Quadro 22 - Classe de uso da Terra, área ocupada e percentual de cobertura sobre a classe de capacidade IVe.....	83
Quadro 23 - Classe de uso da terra, área ocupada e percentual de cobertura sobre a classe de capacidade Va.....	85
Quadro 24 - Classe de uso da Terra, área ocupada e percentual de cobertura sobre a classe de capacidade VIe.....	86
Quadro 25 - Classe de uso da terra, área ocupada e percentual de cobertura sobre a classe de capacidade VIIe.....	89

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do Município de Botucatu no Estado de São Paulo.....	33
Figura 2 – Limite do Município adicionado sobre a carta topográfica georreferenciada.....	38
Figura 3 – Exemplo de manchas de solos demarcadas sobre um aerofotograma.....	39
Figura 4 – Distribuição dos pontos de coleta, rede de drenagem, área urbana e principais rodovias que cortam o Município de Botucatu.....	40
Figura 5 – Carta topográfica georreferenciada antes da digitalização das curvas de nível.....	44
Figura 6 – Carta topográfica georreferenciada mostrando as curvas de nível digitalizadas.....	44
Figura 7 – Imagem do satélite Landsat 5, órbita 220, ponto 076, quadrante A georreferenciada contendo o layer (camada) que destaca o município de Botucatu, no centro.....	56
Figura 8 – Distribuição das classes de solos e da rede de drenagem do Município de Botucatu.....	59
Figura 9 – Curvas de nível digitalizadas de 20 em 20 metros cobrindo todo o Município de Botucatu.....	63
Figura 10 – Distribuição das classes de declive sobre o Município de Botucatu.....	64
Figura 11 – Distribuição das classes de capacidade de uso da terra no Município de Botucatu.....	68

Figura 12 – Distribuição das classes de uso atual da terra no Município de Botucatu - SP.....	70
Figura 13 – Distribuição espacial das classes de uso da terra em relação a classe de capacidade IIIs. ....	74
Figura 14 – Distribuição espacial das classes de uso da terra em relação a classe de capacidade IIIs,e.....	76
Figura 15 – Distribuição espacial das classes de uso da terra em relação a classe de capacidade IVs.....	79
Figura 16 – Distribuição espacial das classes de uso da terra em relação a classe de capacidade IVs,e.....	80
Figura 17 – Distribuição espacial das classes de uso da terra em relação a classe de capacidade IVe.....	82
Figura 18 – Distribuição espacial das classes de uso da terra em relação a classe de capacidade Va.....	84
Figura 19 – Distribuição espacial das classes de uso da terra em relação a classe de capacidade VIe.....	87
Figura 20 – Distribuição espacial das classes de uso da terra em relação a classe de capacidade VIIe.....	88

## RESUMO

Neste trabalho foi efetuado o levantamento das classes de solos, das classes de declive e do uso das terras no Município de Botucatu, SP. Foram utilizadas ferramentas de geoprocessamento para as coletas, análises e integração dos dados básicos. A partir destas informações, criou-se o mapa de capacidade de uso das terras que por meio de procedimentos de álgebra entre mapas, foi cruzado com o mapa de uso das terras. Desta forma, pôde-se detectar as áreas que estão sendo utilizadas de maneira inadequada e que merecem maior atenção e cuidado por parte dos proprietários e do poder público municipal no sentido de proteger ou recuperar os recursos naturais existentes no Município. Os resultados obtidos demonstraram que a integração das ferramentas de geoprocessamento facilitam o trabalho de coleta e processamento dos dados; melhorando o resultado final, por permitir o armazenamento digital, o que facilita o trabalho no caso de necessidade de alterações nas bases de dados. Os resultados demonstraram que o município de Botucatu apresenta a maior parte de suas terras classificadas como sendo de classe III, ou seja, podendo ser utilizadas para fins agrícolas, mas que no entanto, necessitam de cuidados especiais para evitar seu depauperamento.

## **SUMMARY**

### **GEOPROCESSING TO DETERMINATE THE CAPACITY OF USE AND EVALUATION OF THE USE OF LAND IN BOTUCATU'S COUNTY – SP.**

**Author: Edson Luís Piroli**

**Adviser: Prof. Dr. Sérgio Campos**

This work made the rising of the classes of soils, the slope classes and the current land use in Botucatu, SP. Geoprocessing's tools were used for the collections, analyses and integration of the basic data. Using this information, the land use capacity was created by means through algebra among maps, and then, crossed with land use. This way, it could be detected the areas that are being used in an unproperly way and that deserve great attention and care on the part of the public power, to protect or to recover the existent natural resources in the county. The obtained results demonstrated that integration of the geoprocessing tools facilitate the collection work and data processing, improving the final result, to allow the digital storage, what facilitates the work in the case of database change. The results also demonstrated that nearly all Botucatu's lands are classified as being of class III, could be used for agricultural works, but that however, they need special cares to avoid its impoverishment.

**Key words:** Geoprocessing, Land use capacity, Land use adaptation, Geographical Information Systems (GIS).



## 1. INTRODUÇÃO

Desde o início de sua história, o Brasil tem sido muito explorado em seus recursos naturais. Partindo-se da exploração do Pau-Brasil, passando-se pelos ciclos da cana de açúcar, do ouro, do café, das fazendas de gado, chegando-se aos dias de hoje, onde algumas monoculturas predominam em amplas regiões, causando problemas como o desgaste e empobrecimento do solo, a erosão, o assoreamento dos rios e problemas ambientais de toda ordem, temos tido basicamente uma postura exploratória. Em consequência disto, o solo, a água e a vegetação original dão sinais de que não suportam mais tamanha degradação.

À cada dia que passa, nota-se os agricultores empobrecidos fugindo para as periferias das grandes cidades. O campo que outrora sustentou a economia e o desenvolvimento do País hoje padece com as feridas deixadas por este desenvolvimento.

O mau uso das terras trouxe a erosão, que por sua vez assoreou os rios e nascentes e acelerou o empobrecimento do solo, e por consequência, o agricultor. Somando-se a isso, a falta de investimentos no setor agropecuário, tem-se o quadro que obrigou estes

agricultores a abandonarem suas terras, mudando o eixo da produção do campo para as cidades e fazendo com que a economia passasse a depender cada vez mais do desenvolvimento industrial, concentrando a renda e a população nos grandes centros. Esta concentração, aliada à má distribuição desta renda gera os imensos problemas sociais que hoje são enfrentados.

O êxodo rural iniciado na década de 1960, intensificou-se nas duas décadas seguintes, mudando o panorama da sociedade brasileira, que passou de um perfil agrícola para um novo perfil essencialmente urbano. Este êxodo se deu basicamente, devido às péssimas condições de vida oferecidas aos agricultores e produtores rurais e à falta de investimentos governamentais neste setor.

Apesar de hoje a situação da agricultura ser alarmante, ainda é possível contorná-la, bastando para isso que nos conscientizemos de que é do campo que ainda vem o sustento e o emprego de grande parte dos brasileiros. Além disso, a produção de alimentos e de matérias básicas para a indústria deve ser considerada nobre e estratégica, pois sem alimentos, não pode-se sequer continuar vivendo e mesmo que esta atividade não apresente retorno econômico é preciso que a mesma seja incentivada para que continuemos a ter a fartura de alimentos que hoje encontra-se nas grandes cidades. A produção de matérias primas deve ser considerada estratégica e incentivada pois fornece o material para as indústrias, gera emprego, dá independência em alguns setores da economia e, principalmente, mantém o homem fixo no campo.

Outro aspecto relevante a ser considerado no mau uso do solo é a agressão causada ao ambiente e, sobretudo, aos recursos hídricos. Essa agressão já está se fazendo notar em quase todos os aspectos de nossa vida, tais como: mudanças no clima, no

regime hídrico, na fertilidade do solo e na disponibilidade de alimentos. Deve-se aproveitar este momento da história de nosso país, para se enfatizar a importância da preservação destes recursos, pois com a atual crise energética, a sociedade está aberta para discutir e perceber a importância de preservarmos o ambiente e se preciso recuperá-lo, pois depende-se diretamente dele para melhorarmos a qualidade de vida.

A mudança de paradigma com relação ao setor agropecuário passa sobretudo pelo planejamento. Se até a atualidade, ocupou-se a maior parte dos espaços agrícolas brasileiros de uma forma desordenada e inconsequente, urge a necessidade do planejamento, não só com o objetivo de aumentar a produção, mas sobretudo devido ao fato de que as fronteiras agrícolas estão atingindo seus limites. Neste caso, como não existem mais novas áreas para produzir, precisa-se aumentar a produção nos locais onde as terras já são utilizadas para a agricultura. Este planejamento, não deve ser efetuado só a nível de macro regiões, mas principalmente em uma escala regionalizada, buscando sempre melhorar a situação da terra e do homem nas suas localidades, para então, conseqüentemente, melhorá-la a nível de Regiões, Estados e País.

Buscando contribuir para a melhora desta situação e para o aumento dos conhecimentos básicos acerca da terra e sua utilização, estudou-se neste trabalho a aplicação de ferramentas de geoprocessamento para levantamento da distribuição das classes de solos, da vegetação natural, da ocupação agrícola e florestal da terra e das classes de declive no Município de Botucatu – SP. Além disso, este trabalho objetivou elaborar um mapa de classes de capacidade de uso das terras e a verificação da adequação da ocupação de acordo com cada classe de capacidade de uso.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 LEVANTAMENTO DO MEIO FÍSICO**

O conhecimento das características do ambiente em uma determinada região é fator essencial para que o uso de seus recursos seja otimizado e prolongado indefinidamente. Keller (1969) afirmou que a ausência de estudos de uso do solo, em países subdesenvolvidos, faz com que o planejamento de suas agriculturas e do uso de seus recursos naturais seja muito genérico. Salienta que, o desconhecimento do uso da terra e de suas características no momento do planejamento e da tomada de decisões, pode trazer mais prejuízos do que benefícios à estrutura econômica existente.

A FAO (1988) recomendou a adoção de uma agricultura sustentável para o desenvolvimento rural e define a mesma como sendo “o manejo e a conservação da base dos recursos naturais e a orientação das mudanças tecnológicas e institucionais, de maneira a assegurar o lucro e a contínua satisfação das necessidades humanas para as gerações atuais e futuras. Este desenvolvimento conserva a terra, a água e os recursos genéticos vegetais

e animais, não produz degradação ambiental é tecnicamente apropriado, economicamente viável e socialmente aceitável”.

O perfeito conhecimento dos recursos naturais (solos, clima, vegetação, minerais de interesse agrícola e relevo) e das características sócio econômicas (população, produção, evolução da fronteira agrícola e uso atual) constituem o embasamento indispensável para a avaliação do potencial de uso das terras necessário para identificação das áreas passíveis de utilização com atividades agrícolas sustentáveis e das áreas que devem ser preservadas (Macedo, 1998).

Oliveira & Perez Filho (1993) alertaram para a expansão desordenada com o uso indevido do solo, sem levar em conta sua aptidão agrícola, bem como para a retirada das matas e matas ciliares que desempenham importantes funções hidrológicas e contribuem para evitar o assoreamento das drenagens provocando o seccionamento dos canais naturais. Além disso, a implantação de culturas agrícolas em locais inadequados como próximo às nascentes dos rios podem contaminar a rede de drenagem com produtos agrotóxicos, adubos e fertilizantes e conseqüentemente, os reservatórios de água que abastecem a população.

Para Ab’Saber (1994) os impactos da agricultura sobre os sistemas naturais, a nível de mosaicos regionais, é drástico e irreversível sendo que atualmente a erosão é considerada um dos mais sérios problemas do manejo das terras. Para o autor, este problema só pode ser sanado com a adoção do planejamento do uso da terra e com a aplicação de práticas conservacionistas.

Para Tornero (2000), a situação de degradação ambiental verificada no país não é recente. Já no início dos anos 70 começaram a surgir os primeiros sinais de

esgotamento ambiental, ocasionados pelo modelo econômico desencadeado no Brasil a partir dos anos 1940, com a incorporação pela indústria de padrões tecnológicos multinacionais, avançados para a fase de desenvolvimento nacional, mas inadequados à preservação do meio ambiente. A mesma autora defendeu que, para o desenvolvimento ordenado das atividades econômicas, torna-se necessário um planejamento integrado de uso e ocupação do solo, com a caracterização das áreas mais propícias para cada atividade, respeitando-se sempre os ecossistemas da região.

Koffler (1996) afirmou que o confronto entre o uso potencial e o uso real da terra possibilita identificar e quantificar as áreas utilizadas adequadamente e aquelas usadas abaixo ou acima da intensidade máxima recomendada. Ainda segundo o autor, a diminuição do ritmo de expansão da fronteira agrícola provocada pela conscientização ambiental, tornou-se de vital importância a adequação dos sistemas produtivos às condições ecológicas disponíveis, fundamentalmente para a manutenção da produtividade da terra a longo prazo., e que das consequências do mau uso da terra, a principal é a erosão.

Para Filadelfo Júnior (1999) a implantação de uma política agrícola adequada, necessita de informações confiáveis e atualizadas do uso e ocupação da terra para se estruturar e viabilizar o planejamento agrícola local ou regional. Sendo que a conservação do solo constitui um dos aspectos mais importantes da agricultura moderna.

Segundo Campos (2001) o uso adequado do solo exige a utilização de várias técnicas de manejo e conservação do mesmo, sendo também variados os níveis de complexidade apresentados por cada uma. Para o autor, a maioria das áreas em cultivo hoje no Estado de São Paulo sofreram uma sequência de ações que reduziram drasticamente sua capacidade produtiva., e que como agente principal do depauperamento das terras pode-se

citar a erosão hídrica, sendo que a erosão do solo influencia a produtividade alterando os fatores que a limitam.

De acordo com Simões (2001) tem sido amplamente reconhecido que as atividades agrícolas são as maiores fontes de poluição difusa dos recursos hídricos. A mesma autora defendeu que a manutenção de vegetação natural ribeirinha pode reduzir a entrada de poluentes e sedimentos nos cursos de água, favorecendo a infiltração da água no solo, absorvendo, retardando ou purificando o escoamento antes que ele atinja os rios. A autora ressaltou que a manutenção de faixas de vegetação natural ao longo dos cursos de água constitui uma medida ecotecnológica para controle da poluição difusa proveniente do escoamento das águas da chuva em áreas agrícolas. Para a autora, o Código Florestal Brasileiro (Lei nº 4771, de 15 de setembro de 1965) e a Lei de Política Agrícola (Lei nº 8171, de 17 de janeiro de 1991) onde as áreas em torno dos corpos de água são definidas como áreas de preservação permanente, impedem qualquer uso ou manejo com fins econômico e destinadas exclusivamente à proteção ambiental nas propriedades agrícolas. A Lei de Política Agrícola determinou ainda que em um período de 30 anos todas as áreas de preservação permanente devem ser recuperadas com vegetação nativa, onde esta tiver sido eliminada.

Bertoni & Lombardi Neto (1990) consideraram a cobertura vegetal como uma defesa natural de um terreno contra a erosão, sendo assim, afirmaram que após um desmatamento são verificadas alterações importantes nas taxas de erosão, devido a ação direta da chuva no solo.

Diversos autores, entre eles: Giotto (1981), Madruga (1985), Fuchs (1986), Pereira (1986), De Ligier & Perucca (2000) e Bucene (2002), defenderam que, por ser a agricultura uma atividade muito dinâmica, e que depende de fatores que mudam

constantemente no espaço e no tempo, os fatores inerentes ao solo, ao clima e à planta podem influenciar, isoladamente ou em conjunto, o seu desenvolvimento. Afirmaram ainda, que para que se alcance o máximo de rendimento de acordo com as potencialidades do solo e com o mínimo de poluição e degradação, é necessário o acompanhamento, o gerenciamento e o planejamento do uso da terra e do ambiente como um todo.

Deganutti (2000) afirmou que o desenvolvimento da agricultura e o uso da terra requer um cuidadoso planejamento inicial de maneira não somente a protegê-la contra alterações superficiais provocadas pela ação constante dos fenômenos naturais, mas também a desenvolver gradativamente sua capacidade produtiva. Para que o mesmo seja efetivo e eficiente, os planejadores ou aqueles que façam o uso da terra, devem ter acesso a informações corretas e detalhadas.

O planejamento do uso da terra passa por diversas etapas, dentre as quais a principal é o conhecimento dos solos ocorrentes em um determinado local. Ramalho Filho & Beek (1995) afirmaram que a interpretação do levantamento de solos é uma tarefa de mais alta relevância para utilização racional deste recurso natural, na agricultura e em outros setores que utilizam o solo como elemento integrante de suas atividades. Assim, segundo estes autores, podem ser realizadas interpretações para atividades agrícolas, classificando-se as terras de acordo com sua capacidade e aptidão para diversas culturas, sob diferentes condições de manejo e viabilidade de melhoramento, através de novas tecnologias.

Para Fuks (1998) a caracterização do solo quanto ao seu potencial agrícola é relevante para o desenvolvimento de uma agricultura racional e adequada às condições ambientais de uma determinada região. Tal caracterização deve ser colocada à disposição dos usuários em forma de mapa, com o objetivo de auxiliar no planejamento da



produção agrícola. Entretanto, o êxito desse processo, que se inicia com a disponibilidade da informação de solos e finaliza com a formulação de decisões, depende de um nível mínimo de confiabilidade dos mapeamentos para garantir a qualidade dos dados apresentados e a consequente minimização de erros de planejamento.

Zimback (1997) descreveu um levantamento de solos como efetuado com o exame e identificação dos solos, o estabelecimento de seus limites geográficos, a representação em um mapa de solos, a descrição dos solos amostrados no mapa e sua interpretação com a finalidade proposta. Findo o levantamento de solos, o mapa final e o relatório são redigidos. Assim, a partir deste trabalho, outros técnicos poderão iniciar estudos detalhados como de capacidade de uso da terra e de aspectos de seu interesse. A autora afirmou também que um levantamento de solos tem como objetivo determinar características dos solos, classificá-los em unidades de um sistema uniforme de classificação, estabelecer seus limites arranjados em mapas e prever ou determinar seu comportamento para diferentes aplicações. O maior emprego das interpretações de levantamentos de solos tem sido a elaboração de mapas de capacidade de uso, sendo este sistema uma classificação técnico-interpretativa que representa um agrupamento de unidades pedológicas em classes de terras, tomando por base características e propriedades selecionadas, mais relacionadas com o comportamento agrícola dos solos, com o propósito de definir sua máxima capacidade de uso, sem riscos de degradação do solo, especialmente no que diz respeito à erosão acelerada.

## 2.2 CAPACIDADE DO USO DAS TERRAS

A capacidade de uso da terra tem por finalidade fornecer importante subsídio para o planejamento, funcionando como uma ferramenta que imprime um caráter seletivo, racionalizador e de orientação ao uso das terras (Rodrigues et al., 2001)

O sistema de classificação de terras em capacidade de uso, segundo Lepsch et al. (1991), foi elaborado primordialmente para atender a planejamentos de práticas de conservação do solo. Esse princípio tem como objetivo selecionar as técnicas de uso da terra mais recomendadas e adaptadas para o meio físico, de forma que não haja deterioração ambiental e que aqueles solos permaneçam indefinidamente estáveis, quanto à estrutura, sem diminuição de sua capacidade produtiva.

Fernandes et al (1999) afirmaram que o primeiro passo para uma agricultura correta é o uso da terra. Os autores dizem ainda que a maneira como a terra está sendo utilizada tem grande influência sobre a erosão e a produtividade dos solos, e que por isto, para obter uma exploração racional, cada parcela de terra deverá ser utilizada de acordo com sua capacidade de uso.

Conforme Baruqui (1981) o termo capacidade de uso refere-se ao fato de cada solo ter um limite máximo de possibilidade de utilização, além do qual não poderá ser explorado sem riscos de deterioração.

Motta et al. (1993) descrevem aptidão agrícola como a classificação técnica realizada a partir dos mapas pedológicos, visando orientar a utilização adequada da terra, de acordo com sua capacidade, levando em consideração tanto a viabilidade agrônômica das atividades agrícolas em relação às características das terras, quanto os riscos de

degradação do meio ambiente advindos desta exploração, constituindo portanto uma ferramenta indispensável ao planejamento agrícola.

Lepsch et al. (1991) hierarquizam as categorias do sistema de classificação em capacidade de uso da seguinte forma:

- Grupos de capacidade de uso (A, B e C). São estabelecidos com base nos tipos de intensidade de uso das terras .
- Classes de capacidade de uso (I a VIII). São baseadas no grau de limitação de uso;
- Subclasses de capacidade de uso (IIe, IIIe, IIIa, etc.) São baseadas na natureza da limitação de uso que podem ser referentes a solos (s), erosão (e), água (a) e climáticas (c).
- Unidades de capacidade de uso (IIe-1, IIe-2, etc.). São baseadas em condições específicas que afetam o uso ou manejo da terra.

Definiram assim os grupos e as classes de uso do solo para a classificação de terras no sistema de capacidade de uso:

- Grupo A – terras passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens e ou reflorestamento e vida silvestre (comporta as classes I, II, III e IV).
- Grupo B – terras impróprias para cultivos intensivos, mas ainda adaptadas para pastagens ou reflorestamento e ou vida silvestre (compreende as classes V, VI e VII ).
- Grupo C – terras não adequadas para cultivos anuais, perenes, pastagens e ou reflorestamento, porém apropriadas para proteção da flora e fauna silvestre, recreação ou armazenamento de água (comporta a classe VIII).

### **2.3 GEOPROCESSAMENTO COMO FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE USO DAS TERRAS**

O termo geoprocessamento denota uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. Esta tecnologia, tem influenciado de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. Em países de grandes dimensões e com carência de informações adequadas para tomada de decisões sobre problemas ambientais, o geoprocessamento apresenta um enorme potencial, onde o conhecimento local é adquirido, principalmente se baseado em tecnologias de custo relativamente baixo (Câmara & Medeiros, 1998 a). Os autores relataram que os instrumentos computacionais do geoprocessamento, chamados de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), permitem a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Escreveram ainda que o objetivo principal do geoprocessamento é fornecer ferramentas computacionais para que os diferentes analistas determinem as evoluções espacial e temporal de um fenômeno geográfico e as interrelações entre diferentes fenômenos.

Já, para Spanhol et al. (1999) geoprocessamento é a tecnologia que abrange o conjunto de procedimentos de entrada, manipulação, armazenamento, análise e saída de dados espacialmente referenciados. Podendo ainda ser definido, segundo Rodrigues (1990) como sendo o conjunto de tecnologias de coleta e tratamento de informações espaciais e de desenvolvimento e uso de sistemas que a utilizam.

Concordando com o exposto acima, Dainese (2001) mencionou que o geoprocessamento é uma tecnologia transdisciplinar que, através da axiomática da localização e

do processamento de dados geográficos, integra várias disciplinas, equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias, e pessoas para coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associadas a mapas digitais georreferenciados.

Para Brites et al. (1998) o geoprocessamento vem se tornando uma ferramenta importante para a execução de projetos relacionados à área de meio ambiente. As vastas áreas normalmente abrangidas por estes projetos, bem como o grande número de variáveis contempladas por eles, fazem do uso do geoprocessamento o principal recurso para o manuseio das grandes bases de dados envolvidas neles, sejam elas de natureza espacial ou não

Dentro desse panorama, Bucene (2002) relatou que o geoprocessamento se coloca como um importante conjunto de tecnologias de apoio ao desenvolvimento da agricultura, porque permite analisar grandes quantidades de dados georreferenciados, independentemente de serem estatísticos, dinâmicos, atuando de maneira isolada ou em conjunto. Mais do que isto, o geoprocessamento permite o tratamento desses dados, gerando informações e possibilitando soluções através de modelagem e simulações de cenários.

Formaggio et al. (1992) utilizando algumas ferramentas de geoprocessamento, constataram ser possível a obtenção de um mapa de aptidão agrícola de terras, de modo semi-automático, utilizando o SGI. Neste trabalho, desenvolvido para a região de Leme (SP), os autores estabeleceram um mapa de adequação de uso a partir do cruzamento de interpretações quanto ao uso atual, com o mapa de aptidão agrícola em nível de manejo C.

## 2.4 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

De acordo com Burrough (1989) Sistemas de Informações Geográficas são aplicativos constituídos de 5 módulos. Cada módulo é um subsistema que permite as operações de entrada e verificação de dados, armazenamento e gerenciamento de banco de dados, apresentação e saída de dados, transformação de dados e interação com o usuário.

Teixeira et al. (1992), Sendra et al. (1994), Calijuri & Rohn (1994), Medeiros et al. (1995), Pereira et al. (1995), Nogueira (1996), Buzai & Duran (1997), Câmara & Medeiros (1998b), e Calijuri et al. (1998) concordam com Star & Estes (1990), quando estes disseram que um Sistema de Informações Geográficas (SIG) pode ser compreendido como um sistema de informação designado para trabalhar com dados referenciados com coordenadas espaciais ou geográficas. Os autores acima afirmaram que SIGs são constituídos por uma série de programas e processos de análise, cuja característica principal é focalizar o relacionamento de determinado fenômeno da realidade com sua localização espacial. Estes aplicativos permitem a manipulação de dados geograficamente referenciados e seus respectivos atributos e a integração desses dados em diversas operações de análise geográfica. Para os autores citados, os SIGs são formas particulares de Sistema de Informação aplicado a dados geográficos, ou seja, um Sistema de Informação é um conjunto de processos, executados em um conjunto de dados naturais, produzindo informações úteis na tomada de decisões. Afirmaram ainda que SIGs são ferramentas que permitem, a partir de mapas georreferenciados e com valores de atributos conhecidos, manipular e realizar operações com diferentes fatores ambientais.

## 2.5 IMAGENS DE SATÉLITE

Crosta (1992) afirmou que qualquer imagem analógica (fotos aéreas ou mapas) pode ser transformada em imagem digital através de um processo conhecido por digitalização. Este processo é realizado por meio de um equipamento denominado scanner, que transforma uma imagem analógica em uma matriz com o número de linhas e o tamanho de cada cela pré-definidos, atribuindo para cada cela um valor de nível de cinza proporcional à tonalidade da imagem original. No entanto, é com as imagens de satélite que o planejamento do ambiente tem ganho, principalmente na última década um grande impulso, pois estas apresentam um custo relativamente baixo quando comparado com o grande número de informações que trazem agregado.

Piroli (1999) descreveu que com o lançamento em 1972, do ERTS (*Earth Resources Technology Satellite*) – Landsat 1, primeiro satélite colocado em órbita pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), a aquisição de dados sobre a superfície terrestre passou a ser feita de forma global, sinóptica e repetitiva, e que este foi o passo inicial para o desenvolvimento dos satélites de levantamentos ambientais da superfície do Planeta, facilitando o planejamento e monitoramento do uso dos recursos naturais.

Segundo a NASA (2001) as imagens provenientes do Landsat 5 são das mais utilizadas no mundo todo. Cada cena *Full Frame* produzida, recobre uma área de 185 x 185 Km (6167 x 6167 *pixels*) e pode ser subdividida em quadrantes de 92 x 92 Km (3083 x 3083 *pixels*). O sensor TM coleta as informações na região entre 0,450 e 2,350  $\mu\text{m}$  do espectro eletromagnético, ou seja, nas faixas do visível, infravermelho próximo e infravermelho médio, separadas em seis bandas espectrais com resolução espacial de 30 metros. Coleta também

informações na região do espectro entre 10,4 e 12,5  $\mu\text{m}$ , faixa do infravermelho distante ou termal, a partir de uma banda com resolução espacial de 120 metros. O Landsat 5 armazena os dados de cada banda em 256 níveis de cinza, 8 bits por *pixel*, em arquivos de aproximadamente 37 Mb por banda.

Conforme Novo (1992) os dados de sensoriamento remoto têm ampla aplicação na descrição quantitativa de bacias hidrográficas e redes de drenagem. Assim, uma série de estudos morfométricos, antes realizados a partir de dados extraídos de cartas topográficas, passaram a ser feitos com base em dados de sensoriamento remoto, ou seja, nas imagens coletadas por sensores remotos. Já para Rosa (1995) a extensão do território brasileiro e o pouco conhecimento dos recursos naturais, aliado ao custo de se obter informações por métodos convencionais, foram os fatores decisivos para o país entrar no programa de sensoriamento por satélite

De acordo com Pinto (1991) a utilização de imagens orbitais obtidas através do Landsat, tem se intensificado na medida em que suas potencialidades em diferentes aplicações temáticas tem sido demonstradas e resultados concretos foram alcançados. Os melhores resultados tem sido encontrados na discriminação de alvos que ocorrem na superfície, para mapeamentos e monitoramento ambiental, destacando-se as imagens orbitais pelas suas características espectrais e pela sua repetitividade.

Ao avaliar dados do sensor TM do satélite Landsat 5 para detecção de erosão do solo em terras cobertas com diferentes espécies, Price (1993) observou que os dados espectrais apresentaram informações mais consistentes que quaisquer combinações de fatores de campo. Desta forma recomendou sua adoção para a geração de futuros modelos para a estimação de perdas de solos.



Na mesma linha, Hallum (1993), May et al. (1997), Valério Filho et al. (1997), Alves et al. (1998) e Deppe (1999) verificaram que dados provenientes de sensoriamento remoto foram eficientes para levantamento da cobertura do solo e para monitoramento de mudanças na cobertura vegetal em diferentes regiões da Terra.

Câmara & Medeiros (1998 b) descreveram que as imagens obtidas por satélites, fotografias aéreas ou scanners aerotransportados, representam formas de captura indireta de informação espacial. Armazenadas como matrizes, cada elemento de imagem, denominado *pixel*, tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente.

Santos et al. (1993) comentaram que o uso de imagens de satélite como base cartográfica é muito promissor, devido ao seu relativo baixo custo, fácil aquisição, periodicidade e poder de fornecer importantes informações sobre mudanças no uso da terra.

Para Sano et al. (1998) a utilização de dados orbitais de sensoriamento remoto para o levantamento e quantificação da ocupação agrícola de um determinado município, microrregião ou estado, dentre outros, tem-se tornado frequente no Brasil no últimos tempos.

## **2.6 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS)**

O sistema GPS consiste de uma constelação de 24 satélites que orbitam a terra a 20.200km, passando sobre o mesmo ponto da superfície terrestre duas vezes por dia. Estes satélites emitem sinais de rádio que são captados pelo aparelho de GPS que em função da localização do satélite informa a coordenada de qualquer ponto da superfície da

terra. Gorgulho (2001) recomendou sua utilização para localização de pontos onde amostras para experimentos agrícolas serão coletadas.

Ao mesmo tempo, Baio (2001) relatou que o GPS é um sistema projetado para fornecer o posicionamento instantâneo de um ponto sobre a superfície da terra, bem como, a velocidade de deslocamento entre dois pontos. Comentou ainda que o erro atual do sistema com relação à localização de um ponto gira em torno de 10 m.

Por estas características, este sistema tem adquirido uma importância crescente na agricultura devido ao potencial que apresenta para determinação de coordenadas de pontos localizados em qualquer local de uma lavoura. Isto tem possibilitado a melhora e o incremento em muitas áreas da pesquisa agrícola, principalmente aquelas ligadas ao levantamento de dados básicos para uma agricultura mais produtiva e menos agressiva ao ambiente. Desta forma, diversos autores como Kuhar et al. (1997), Legg & Stafford (1998), Johannsen et al. (1999) e Rodrigues (2002) utilizaram e pesquisaram este sistema para o aprimoramento das técnicas de agricultura de precisão.

## **2.7 O SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS - IDRISI**

O SIG Idrisi, utilizado neste estudo, combina processamento de imagens e Sistema de Informações Geográficas. O aplicativo tem sido desenvolvido pela Faculdade de Geografia, da Clark University, Massachussets, Estados Unidos. E é um sistema que trabalha com as formas raster e vetorial de dados (Eastman, 1998).

Ribeiro (1998) e Campos (2001) descreveram que a utilização do Sistema de Informações Geográficas Idrisi vem se desenvolvendo no compasso de sua

aceitação como uma ferramenta que produz resultados satisfatórios variando de acordo com a qualidade da base de dados e da consistência das metodologias utilizadas. Afirmaram também que o sistema Idrisi se adequa às atividades de pesquisa e ensino devido ao seu custo relativamente baixo e a sua estrutura modular, o que permite o desenvolvimento de novos módulos com o conhecimento mínimo da estrutura interna de funcionamento. Ainda segundo os autores, o sistema oferece um número razoável de possibilidades em relação às operações sobre os dados, contemplando diversos ítems das análises em SIG, tais como: medidas de distância (em linha reta, em curva, menor distância entre dois pontos, vizinho mais próximo, rota mais curta); medidas de área; zona de influência em torno de pontos, polígonos, linhas retas e linhas curvas; zona de influência ponderada; operações aritméticas com mapas (adição, subtração, multiplicação, divisão exponenciação, diferenciais); funções trigonométricas; funções booleanas (sobre mapas e sobre atributos); conversão (*vector-raster*, *raster-vector*); tratamento de imagens; transformações de coordenadas; traçado de redes; tratamento de dados altimétricos (declividade, exposição de vertentes, interpolações, visibilidade entre pontos, curvas de nível, perfis de terreno, corte/aterro, modelos digitais de elevação); operações com polígonos, etc.

Mendonça (1996) verificou que o sistema Idrisi, no seu módulo *resample*, demonstrou prover eficazmente o refinamento geométrico de imagens fotográficas. Corseuil (1996) analisou o Idrisi para modelagem numérica de um mapa temático de sítios florestais e obteve resultados significativos, Moscoso et al. (1997) afirmaram que o SIG Idrisi mostrou-se uma ferramenta adequada para o tratamento de dados necessários para chegar ao mapa de características morfológicas para aptidão de irrigação. Costa et al. (1996) utilizaram o Idrisi para a delimitação, a quantificação e a caracterização de áreas de preservação

permanente e teve resultados satisfatórios. Rocha Filho & Primavesi (1997) utilizaram o Idrisi para a caracterização de uma microbacia e verificaram boa versatilidade para esta aplicação. Já Martins et al. (1998) testaram o Idrisi para indicação de corredores ecológicos, obtendo bons resultados. Oliveira et al. (1998) estudaram o Idrisi para diagnóstico ambiental de fragmentos florestais e verificaram que o mesmo demonstrou-se eficaz para diagnosticar, em nível de paisagem, os fragmentos florestais de modo rápido e fácil.

Calijuri et al. (1998) utilizaram o Idrisi para caracterizar tipos de solo, vegetação, rede hidrográfica, relevo, áreas alagadas e impactos em microbacia hidrográfica e verificaram que o mesmo é adequado para transformar as informações analógicas para base digital. Afirmaram ainda que o Idrisi, além dos aspectos de agilidade, compatibilização de informações de diferentes fontes, serviu para implantar um banco de dados informatizado e atualizado, contendo a evolução de eventos no espaço e no tempo; além de permitir que o banco de dados seja permanentemente alimentado e atualizado com novas informações.

Hamada et al. (1996) realizaram um estudo de capacidade de uso das terras utilizando o Idrisi, digitalizando inicialmente cartas topográficas do IGC, que serviram de base para a confecção do modelo de elevação digital (MED). Em seguida, obtiveram o mapa de declividade, que foi reclassificado segundo as classes de declive: A (0-3%), B (3-5%), C (5-12%), D (12-20%), E (20-40%) e F (>40%). Neste trabalho, as unidades de capacidade de uso foram obtidas do cruzamento das limitações dadas pelos solos e pelas classes de declive. Os resultados deste estudo, segundo os autores, indicaram áreas com problemas de conservação de solo e uso inadequado, além disso, foram identificadas terras com uma diversidade de fatores limitantes, indicando manejo e cuidados diferenciados.

Conforme Assad et al. (1998) uma das mais importantes fontes de dados analógicos espaciais é o mapa. Ao copiarem as curvas de nível de uma carta topográfica, e interpolarem as mesmas através do Idrisi, verificaram que uma das grandes vantagens do aplicativo é a possibilidade de elaboração de mapas de declividade de uma forma rápida. Esses mapas são obtidos, inicialmente, por meio de Modelos de Elevação Digital (MED), definidos como qualquer representação digital da variação contínua do relevo no espaço.

Os mesmos autores afirmaram que a avaliação da aptidão agrícola de terras para agricultura por meio de SIG, como ferramenta para espacialização e cruzamento de dados, bem como para cálculos de áreas, apresenta inúmeras vantagens, que superam largamente as desvantagens constatadas. Essas vantagens, de um modo geral, independem do tipo de sistema de avaliação adotado e do SIG utilizado .

Ainda segundo Assad et al. (1998) o trabalho com SIG apresenta como vantagens, a redução da subjetividade embutida em operações de cruzamento manual de informações sobre o meio ambiente, a rapidez nas operações de sobreposição de mapas e cálculos de áreas, a possibilidade de obtenção de tantos mapas temáticos quanto assim permitirem as variáveis disponíveis, além da facilidade de atualização e aperfeiçoamento dos diagnósticos feitos a partir da introdução de novos dados na base cartográfica arquivada em forma digital. No entanto, os autores ressaltaram que as classes de aptidão ou de capacidade de uso obtidas por meio de cruzamentos manuais de dados, ou por meio de cruzamentos automáticos de informação via SIG, são apenas indicadores de uso mais intensivo possível. Para eles, o planejamento de uso sustentável das terras deve ser condicionado também por fatores como diversidade biológica da área e seu valor ecológico, importância da área dentro

de um contexto de ocupação antrópica, função da área em atividades produtivas e/ou não produtivas, etc. Essas definições por sua vez podem ser feitas de modo mais preciso e mais rápido utilizando-se um SIG, para integrar dados sobre o meio físico com dados socioeconômicos.

## **2.8 INTERPOLAÇÃO DE ISOLINHAS (CURVAS DE NÍVEL)**

Os estudos ambientais de qualquer característica ou propriedade que possuam uma distribuição espacial, principalmente aqueles cujas variáveis sejam dependentes ou influenciadas pela sua posição geográfica (coordenadas e altitude), necessitam de um modelo digital de terreno que represente a superfície real da forma mais adequada possível. A análise espacial, como parte integrante de um SIG, oferece uma ampla e flexível variedade de ferramentas que fornecem estimativas para locais não amostrados, geralmente, com a estimativa de valores pela média linear ponderada das amostras disponíveis, como a regressão linear múltipla. Entre diferentes técnicas, a técnica TIN (*Triangulated Irregular Networks*) se destaca e é comumente usada para a interpolação de dados pontuais (Rodrigues et al., 2000).

Os autores afirmaram ainda que uma rede irregular triangulada (TIN) é uma estrutura de dados vetoriais, onde os pontos dos dados levantados tornam-se os vértices de um conjunto de faces triangulares que cobrem completamente a área de estudo, servindo de base para a geração de um modelo contínuo da superfície. Este procedimento pode ser aplicado a um conjunto de dados não pontuais, como no caso de um arquivo de isolinhas, permitindo a interpolação dos valores entre as curvas e a criação de um modelo digital de terreno. Já, de acordo com Eastman (1999) a opção de restringir, no Idrisi, a definição das bordas das faces triangulares, de modo que elas não cruzem as isolinhas, força a triangulação a

preservar o caráter da superfície como definido pelas isolinhas. O autor afirma ainda que o modelo interpolado por esse processo deve impedir a presença de áreas absolutamente planas resultantes da interpolação entre isolinhas com o mesmo valor de atributo. Este caso é especialmente comum em interpolações de cartas topográficas quando se utiliza um interpolador linear.

Rodrigues et al. (2000) argumentaram também que de qualquer modo, nenhum método específico de modelagem de superfície é melhor que os outros em um aspecto geral. O mérito relativo de qualquer método depende das características dos dados amostrados e do contexto no qual o modelo de superfície será utilizado. A precisão das medições dos pontos levantados, bem como a frequência e distribuição destes pontos relativas à escala de variação necessária, influenciam a escolha da técnica de interpolação a ser aplicada a estes dados. Ao avaliar o resultado de interpolações, verificaram que o método da rede irregular triangulada (TIN) demonstrou uma grande capacidade de representar a continuidade dos valores de altitude de forma satisfatória, quando analisada a representação dos valores de topo e baixada, sem a presença de áreas planas, comuns entre curvas de mesma cota.

Para Campos (2001) a modelagem *Triangulated Irregular Networks* (TIN) é a mais comum usada para modelagem de superfícies contínuas usando dados vetoriais. Afirmou também que o processo *Delaunay* de triangulação é o mais comum, sendo este o utilizado pelo Idrisi na sua versão 32, em seu módulo TIN.

## **2.9 FILTRAGEM DE DADOS**

Pereira (1997) afirmou que a aplicação de filtros espaciais, como forma de extração de atributos, possui a finalidade de garantir custos computacionais menores,

sem no entanto prejudicar a estimativa de parâmetros. Os filtros também são usados para ressaltar a existência de bordas, transições entre áreas sombreadas e iluminadas ou ainda as transições naturais como limites entre culturas agrícolas.

Crosta (1992) definiu filtro de moda, como sendo uma máscara de dimensões pré-definidas, cujo *pixel* central é substituído pelo valor de “número digital” (nível de cinza), mais comum dentro da máscara. Este tipo de filtro é bastante útil para “limpar” *pixels* isolados em imagens representando resultados de classificação estatística multi espectral. O autor explicou que em um filtro de mediana, o *pixel* central da máscara é substituído pela mediana dos seus vizinhos. A mediana de um conjunto de alguns números representa o “número digital” intermediário do conjunto. Afirma ser este um filtro de suavização que preserva as bordas em imagens.

Eastman (1999) relatou que os filtros podem mudar os valores de todos os *pixels* em uma imagem, baseados nos valores prévios de cada *pixel* e de seus vizinhos. A natureza desta operação é determinada por valores armazenados em matrizes. Através delas, o *pixel* e seus vizinhos são multiplicados pelos valores armazenados nas correspondentes posições da matriz, podendo os valores resultantes ser somados para chegar a um novo valor para cada *pixel*.

## **2.10 CLASSIFICAÇÃO DO USO DAS TERRAS**

Para Venturieri & Santos (1998) o monitoramento da paisagem de uma dada região é fator primordial no planejamento racional de utilização da terra, face principalmente à velocidade de ocupação do espaço físico e ao pouco conhecimento dos recursos naturais nela existentes. Diante deste quadro, os produtos de sensoriamento remoto



orbital têm sido importantes não só na aquisição primária de informações como no inventário e gerenciamento da paisagem agroflorestal, em países de dimensões continentais como o Brasil. Para os autores, a classificação de imagens consiste no estabelecimento de um processo de decisão no qual um grupo de *pixels* é definido como pertencente a uma determinada classe. Os métodos de classificação digital podem ser agrupados em função da presença ou não de uma fase de treinamento onde o analista interage com o computador. O método é dito não supervisionado quando o classificador não utiliza a priori nenhum conhecimento sobre as classes existentes na imagem e define, sem a interferência do analista, a estratificação da cena, atribuindo cada *pixel* a uma determinada classe. Já no método dito supervisionado, é necessário um conhecimento prévio de algumas áreas em que se deseja trabalhar, o que permite a seleção de amostras de treinamento confiáveis.

Para Palavecino et al. (2000) o conhecimento do uso e cobertura da terra é um dos primeiros planos de informação que podem ser inserido e em um SIG já que respondem as clássicas perguntas: de que, quanto e onde se localizam os recursos em uma determinada estrutura político administrativa.

Lo & Faber (1997), Carlson & Sanchez-Azoleifa (1999) e Sartori Neto et al (2001) afirmaram que o planejamento ambiental, via de regra, trabalha com grande número de variáveis (solo, vegetação, clima, fauna, geomorfologia, aspectos sociais etc.) que atuam interativamente. A complexidade, em termos estruturais e da quantidade de variáveis, requer o desenvolvimento de técnicas como suporte aos processos de tomada de decisões. Nesse sentido, os sistemas de informações geográficas (SIGs) e o sensoriamento remoto são ferramentas fundamentais no estudo e manejo dos recursos naturais, tornando o planejamento uma atividade mais dinâmica e eficiente.

Decian et al. (1999) ao avaliar os diferentes métodos de classificação disponíveis no Idrisi, verificaram que o método de máxima verossimilhança apresentou os melhores resultados para a diferenciação espectral dos alvos.

## **2.11 AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA**

Para Lingnau (1995) e Antunes (1996) a acurácia posicional geralmente está relacionada a escala do mapa, no entanto, a acurácia temática passa a ter um valor relativo, ou seja, depende das expectativas do usuário. Dependendo do procedimento de classificação a acurácia aceitável pode ser maior ou menor. No entanto, os autores afirmaram que ambas devem ser compatíveis, pois um mapa temático com boa acurácia posicional, deve possuir uma boa acurácia temática. Os autores afirmaram ainda que dados provenientes de classificação digital de imagens de satélite estão sujeitos a erros oriundos da obtenção dos dados pelo sensor, da retificação e da classificação da imagem. Em função disso, recomendaram que a avaliação da qualidade das informações, geradas a partir da classificação digital, devem estar associadas a um controle de qualidade para que possam ser validadas.

Stehman & Czaplewski (1998) afirmaram que os mapas de cobertura do solo são usados em numerosas aplicações para descrever a distribuição espacial e modelos de cobertura da terra, também são úteis para estimar áreas extensas de diferentes classes de coberturas. Nestes casos, a avaliação quantitativa da acurácia dos mapas pode auxiliar os usuários a avaliarem a utilidade de cada mapa para cada aplicação.

Para Simões (2001) geralmente, a última etapa de uma classificação envolve uma avaliação da exatidão do mapeamento. Tal avaliação pode ser feita através da geração de pontos aleatórios no mapa para serem verificados no campo.

Congalton, citado por Simões (2001) comparou diferentes esquemas de amostragem para determinar a exatidão do mapeamento de várias coberturas, usando dados do sensor MSS/Landsat. Os resultados indicaram um bom desempenho para a amostragem aleatória estratificada, que deve ser usada especialmente quando se pretende que áreas pequenas, mas importantes na população, sejam representadas. Como as técnicas de amostragem produzem resultados de exatidão muito diferentes, medidos através do coeficiente Kappa, deve-se sempre mencionar a estratégia de amostragem utilizada.

Para Stehman (1996) a acurácia de um mapa temático de cobertura do solo derivado de dados provenientes de sensoriamento remoto é a chave para descrever a avaliação necessária e a utilidade do produto final. Comenta que tipicamente, os pontos de referência são localizados no terreno e identificados e em seguida os píxeis correspondentes àquele alvo são avaliados para se verificar a precisão do mapeamento.

Conforme Simões (2001) na matriz de erro, o erro de omissão indica a probabilidade de uma unidade amostral de referência estar corretamente classificada e o erro de inclusão representa a probabilidade que um pixel classificado no mapa, represente a categoria no terreno. Erros de inclusão ocorrem quando um ponto é identificado como da classe A, quando na realidade pertence a outra classe, enquanto que os erros de omissão ocorrem quando um ponto é identificado como pertencente a outra categoria, quando, na realidade, é membro da classe A.

Conforme Eastman (1999) o índice Kappa é uma forma de testar se as diferenças em duas imagens são devido a chance ou se realmente discordam. O Idrisi calcula o Índice Kappa por categoria e para a imagem toda.

O número de unidades amostrais necessárias para uma satisfatória pode ser calculado pela fórmula citada por Eastman (1999):

$$n = z^2 pq / e^2$$

onde:  $n$  é valor padrão requerido para determinado nível de confiança (1,96 para 95% de confiança);

$e$  é o intervalo de confiança desejado (0,05 para 5%);

-  $p$  é o erro proporcional estimado a priori;

-  $q$  é  $1 - p$ .

A estatística Kappa é calculada de acordo com Lillesand & Kiefer (1994):

$$\hat{k} = \frac{N \sum_{i=1}^r n_{ii} - \sum_{i=1}^r (n_{i+} * n_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (n_{i+} * n_{+i})}$$

Onde,

$r$  = dimensão da matriz quadrada;

$n_{ii}$  = número de observações na linha  $i$ ;

$n_{i+}$  = total marginal da linha  $i$ ;

$n_{+i}$  = total marginal da coluna  $i$ ;

$N$  = número total de *pixels* amostrados.

De forma computacional, o Idrisi calcula o Kappa geral através do módulo ERRMAT, como:

$$K = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e}$$

Onde,

$P_0$  = representa a exatidão geral da classificação (soma da coluna diagonal da matriz dividida pelo número total de *pixels* amostrados);

$$P_e = \sum p_{i+} p_{+i}$$

$p_{i+}$  e  $p_{+i}$  = proporções marginais da linha  $i$  e da coluna  $i$ , respectivamente

O Idrisi também calcula o coeficiente Kappa para medir a exatidão de categorias individuais sendo denominado de Kappa condicional, de acordo com o algoritmo introduzido em sensoriamento remoto por Rosenfield & Fitzpatrick-Lins (1986):

$$\hat{k}_i = \frac{Nn_{ii} - n_{i+}n_{+i}}{Nn_{+i} - n_{i+}n_{+i}}$$

Diversos autores, entre eles Caldeira (1994), Carrilho (1996), Ortiz et al. (1997), Ippoliti-Ramilo (1999) e Simões (2001) basearam-se numa tabela proposta por Landis & Koch (1977) para a avaliação dos valores obtidos de Kappa. Assim, os valores de K encontrados, foram julgados de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1 – Qualidade da classificação associada aos valores da estatística Kappa

Valor de Kappa	Qualidade da classificação
0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito Boa
0,80 – 1,00	Excelente

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 MATERIAL**

##### **3.1.1 Descrição geral da área de estudo**

O Município de Botucatu localiza-se no Centro Oeste do Estado de São Paulo, no Planalto Ocidental Brasileiro (Almeida, 1964). Situa-se entre os paralelos de 22° 35' e 23° 06' de latitude Sul e entre os meridianos de 48° 12' e 48° 52' de longitude Oeste de Greenwich, ou entre as coordenadas 720000; 785000 e 7445000; 7500000 do fuso 22 da projeção Universal Transversa de Mercator - UTM (IBGE, 1982).

A área total do Município conforme medida efetuada neste trabalho é de 1.465,65 km<sup>2</sup>. A Figura 1 apresenta a localização do Município no Estado de São Paulo.

O clima predominante no município, classificado segundo o sistema Köppen é do tipo Cfa (Ayoade, 1986) - clima temperado chuvoso e a direção do vento predominante é a sudeste (SE).

A temperatura média anual, segundo Martins (1989) na região, é de 20,2 °C, sendo as temperaturas médias dos meses mais quentes de 23,2 °C e de 16,9 °C nos meses mais frios.

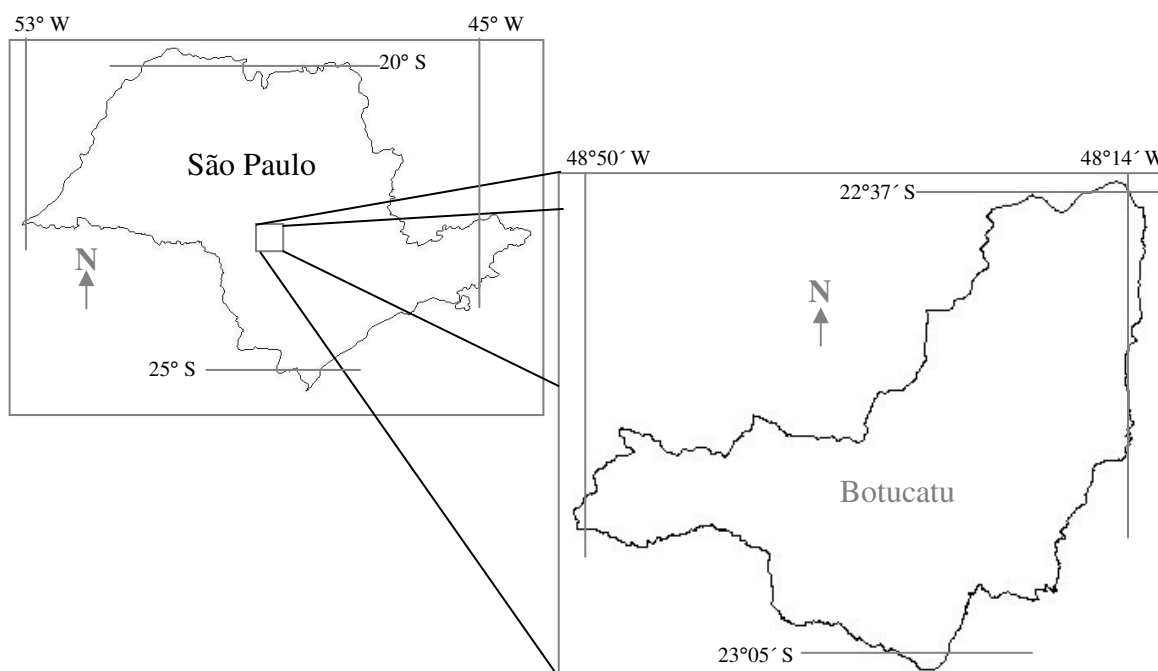


Figura 1 – Localização do Município de Botucatu no Estado de São Paulo.

A precipitação média anual está ao redor de 1.447 mm, ocorrendo uma precipitação média no mês mais chuvoso e mais seco, respectivamente, de 223,4 mm e 37,8 mm.

Brasil (1960) descreveu a vegetação natural local como Cerrado. Para Embrapa (1988), estas formações florestais são classificadas como Cerrado Tropical Subcaducifólio, sendo que presentemente só existem vestígios ocorrendo na forma de pequenos maciços nas encostas íngremes de morros ou em galerias margeando alguns cursos d'água.

De acordo com Gabriel (1990), a vegetação natural em Botucatu é representada principalmente pelas espécies *Trichilia elegans*, *Chorisia speciosa*, *Patagonula americana*, *Trichilia clauseni* e *Gallesia gorazema*, sendo as famílias Meliaceae, Fabaceae e Phytolacaceae as mais abundantes. Além destas espécies nativas, características da Mata Atlântica, existem hoje, no município grandes áreas ocupadas por *Eucalyptus sp*, espécie esta que se adaptou muito bem na região e que é utilizada como matéria prima na indústria madeireira, para a fabricação de chapas de compensado, aglomerado, produção de tábuas, etc.

Atualmente, as áreas anteriormente com vegetação primitiva estão ocupadas por culturas, como: pastagens, reflorestamento, café, milho, cana-de-açúcar e citricultura.

Para IPT (1981) as terras situadas acima das cuevas, provenientes de formações sedimentares, estendendo-se a Norte e Oeste do Estado são denominadas de Planalto Ocidental. Descreve a geologia do Planalto Ocidental como constituída de sedimentos pertencentes ao grupo Bauru, dividido em rochas com cimento calcáreo e rochas com cimento argiloso e não calcário. São arenitos com até 85% de areia, tendo portanto, os solos provenientes desse material, alto teor de areia em relação as demais frações granulométricas do solo, e depósitos do Quaternário.

Oliveira (1999) descreveu como solos ocorrentes no Município, LVA (Latosolos Vermelho-Amarelos), NV (Nitossolos Vermelhos) e PVA (Argissolos Vermelho-Amarelos).



### 3.1.2 Equipamentos e aplicativos computacionais utilizados

a-) Foram utilizados computadores com capacidade de 64 Mb de memória RAM e 300 MHz de velocidade de processamento, com capacidade de armazenamento de 5 Gb. Utilizou-se ainda, impressoras e scanners.

b-) Estereoscópios Wild modelo ST-4 e Condor T-22.

c-) GPS de navegação Garmin modelo e\_map.

d-) Aplicativos: Idrisi for Windows 2.1

Idrisi for Windows 32

Adobe Photoshop 5.0

Arc-View 3.2

### 3.1.3 Base de dados

a) Cartas topográficas na escala 1:50.000, com distância vertical entre curvas de nível de 20 m, abrangendo o município de Botucatu, com as seguintes nomenclaturas: Pratânia, folha SF-22-Z-B-V-4; Rio Palmital, folha SF-22-Z-B-V-3; Botucatu, folha SF-22-R-IV-3; Itatinga, folha SF-22-Z-D-II-2; Bofete, folha SF-22-Z-D-III-1; Barra Bonita, folha SF-22-Z-B-VI-1 e Santa Maria da Serra, folha SF-22-Z-B-VI-2.

b) Aerofotogramas verticais com escala nominal aproximada de 1:45.000, de 1978.

c) Imagem do satélite Landsat 5, órbita ponto 220/076 quadrante A, bandas 3, 4 e 5, de 18 de setembro de 1999.

## **3.2 MÉTODOS**

O presente trabalho foi desenvolvido com três bases de dados (cartas topográficas, aerofotogramas e imagem de satélite) e cinco etapas que foram:

- 1 - Delimitação e georreferenciamento da área de estudo
- 2 - Levantamento dos solos
- 3 - Digitalização das curvas de nível
- 4 - Levantamento do uso atual da terra
- 5 - Verificação da adequação do uso da terra

### **3.2.1 Delimitação e georreferenciamento da área de estudo**

Na primeira etapa do trabalho, foi efetuada a georreferência da imagem de satélite para que a mesma pudesse ser utilizada como plano de orientação das demais atividades. Este georreferenciamento foi executado localizando-se um número de pontos de controle suficientes para chegar-se a um erro médio quadrático abaixo da metade da resolução desejada, conforme sugerido por Eastman (1998).

Os pontos de controle escolhidos foram aqueles localizados sobre a imagem de satélite que possuíam correspondente georreferenciado nas cartas planialtimétricas, tais como: encruzilhadas de rodovias, pontes e cruzamento de rodovias com vias férreas. O processo de georreferência consistiu em identificar-se as coordenadas dos pontos de controle na imagem de satélite e as coordenadas na projeção UTM nas cartas topográficas. Com estas

informações gerou-se um arquivo de correspondência com as coordenadas X e Y da imagem e seus correspondentes Leste-Oeste e Norte-Sul na projeção UTM. Em seguida, através de processo de reamostragem, utilizando uma equação linear o Idrisi substituiu o valor da coordenada de imagem por novo valor de coordenada na projeção UTM em cada *pixel*.

Ainda nesta etapa, efetuou-se a identificação do limite do município e sua digitalização no sistema de projeção UTM. Esta delimitação foi feita sobre as cartas topográficas, digitalizando-se o contorno de todo o município no aplicativo Idrisi. Em uma etapa posterior, utilizou-se o aplicativo ArcView para ajustes na localização deste limite.

Em uma etapa posterior, todas as cartas topográficas em escala 1:50.000, foram digitalizadas através do scanner e em seguida georreferenciadas. Neste momento, exportou-se estas cartas e o arquivo vetorial do limite do município digitalizado para o ArcView 3.2, e efetuou-se o ajuste do mesmo, de acordo com os limites apresentados nas cartas topográficas.

A Figura 2 apresenta um exemplo do limite adicionado sobre uma região de uma carta topográfica. Nela, pode-se observar que o mesmo apresentou algumas discrepâncias relativas ao posicionamento sobre a carta topográfica georreferenciada. Cada quadrado sobre o limite representa um ponto digitalizado. No ArcView, foi possível mudar a posição destes quadrados arrastando-os com o mouse e ajustando-os à sua posição real na projeção UTM.

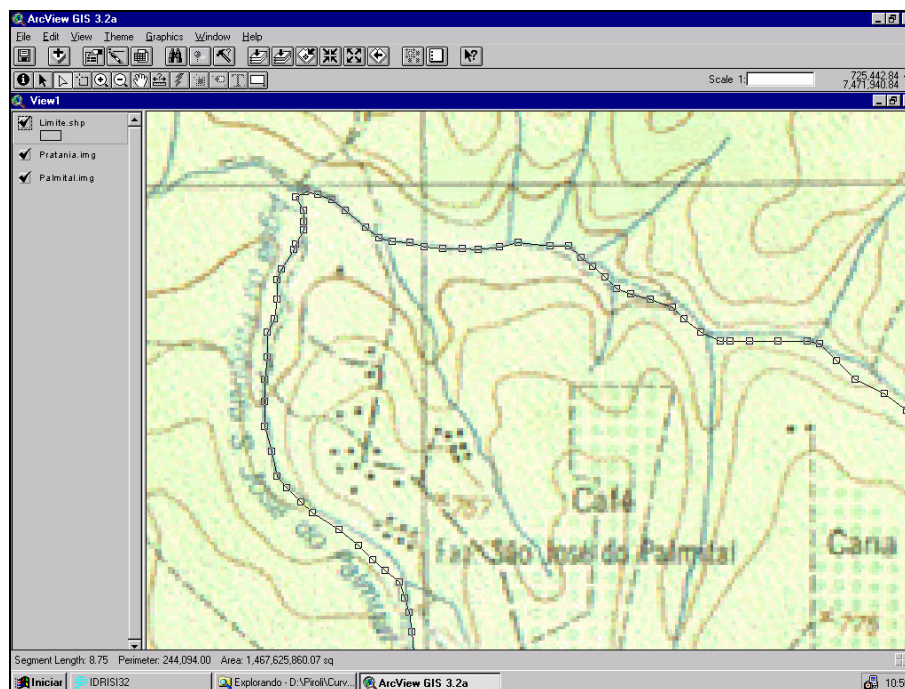


Figura 2 – Limite de parte do Município adicionado sobre a carta topográfica georreferenciada.

Nesta fase, digitalizou-se toda a rede de drenagem e as principais rodovias que cortam o Município.

A área total do Município de Botucatu, foi medida através da rasterização do polígono limite georreferenciado. Efetuou-se então o cálculo da área utilizando-se o módulo *area* do menu *analysis/data base query* do Idrisi.

### 3.2.2 Levantamento dos solos

A identificação das diferentes manchas de solo, foi efetuada sobre os aerofotogramas, onde foram demarcados os prováveis limites entre cada tipo de solo, na Figura 3 está exposto um exemplo dessa demarcação.

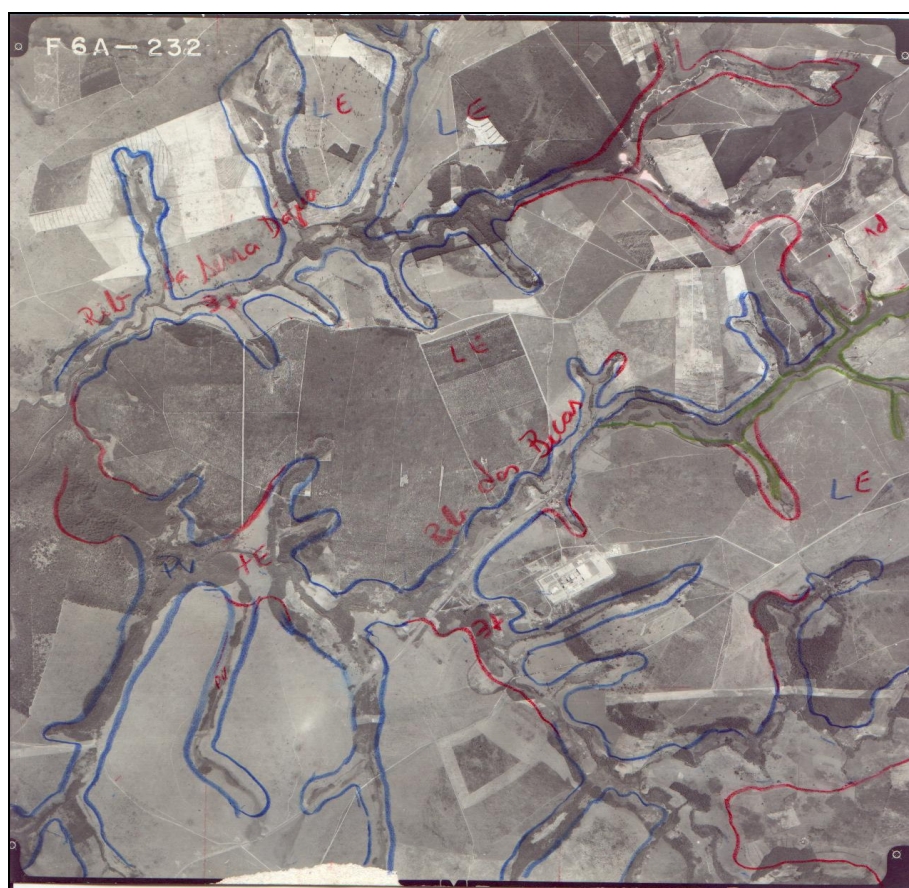


Figura 3 – Exemplo de manchas de solos demarcadas sobre um aerofotograma do Município de Botucatu.

De posse destas informações, partiu-se para a coleta das amostras de solo nos locais previamente definidos. Estes locais foram encontrados mediante o uso das cartas topográficas, da imagem do satélite e do aparelho de GPS que permitiu a visualização e

identificação das coordenadas em todos os pontos visitados, como mostram a Figura 4 e o Quadro 2, respectivamente.

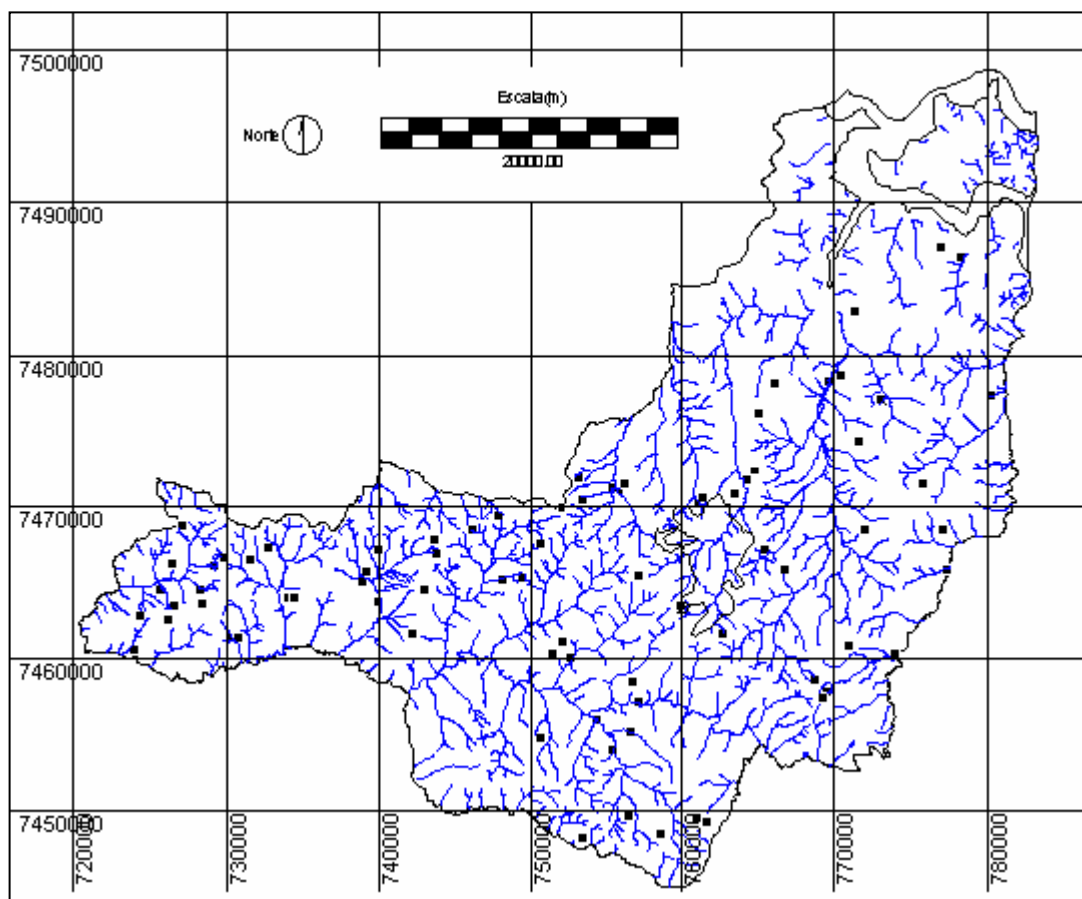


Figura 4 – Distribuição dos pontos de coleta de solo, rede de drenagem e área urbana do Município de Botucatu.

Quadro 2 – Coordenadas UTM dos locais onde foram coletadas amostras para análises físico-químicas dos solos.

Identificação do ponto	Coordenada E	Coordenada N	Identificação do ponto	Coordenada E	Coordenada N
1	731600	7466600	42	777400	7465950
2	726700	7463600	43	777150	7468500
3	726600	7466300	44	772050	7468600
4	725800	7464600	45	780300	7477400
5	750600	7454900	46	773200	7477050
6	757215	7457270	47	773000	7477200
7	756667	7455380	48	770400	7478700
8	752232	7461240	49	769700	7478400
9	752773	7460140	50	766100	7478200
10	761220	7470340	51	765050	7476250
11	761130	7470300	52	756500	7449900
12	761440	7470670	53	758650	7448700
13	756298	7471510	54	771300	7482900
14	755488	7471350	55	777050	7487100
15	752137	7470025	56	778350	7486500
16	753550	7470560	57	755569	7454138
17	768710	7458790	58	753607	7448357
18	769540	7457900	59	761623	7449516
19	769267	7457630	60	754498	7456147
20	771000	7461000	61	760990	7449653
21	773925	7460460	62	727196	7468755
22	757258	7465600	63	729360	7466200
23	747900	7469450	64	728442	7464589
24	746230	7468500	65	728530	7463727
25	764260	7471870	66	724431	7462960
26	763557	7470960	67	724070	7460770
27	764840	7472540	68	732820	7467350
28	726300	7462700	69	751472	7460414
29	729950	7466700	70	762725	7461800
30	730500	7461500	71	766755	7465897
31	730850	7461550	72	739249	7465872
32	734100	7464150	73	740010	7467270
33	734550	7464050	74	743700	7467960
34	740000	7463800	75	743000	7464570
35	742250	7461800	76	749425	7465393
36	743850	7467050	77	775760	7471553
37	748200	7465300	78	771607	7474465
38	750600	7467700	79	739012	7465187
39	756850	7458600	80	755862	7471111
40	759900	7463650	81	753230	7472000
41	765500	7467250			

Em seguida, as amostras de solo foram analisadas em laboratório para determinação de seus atributos físicos e químicos e no campo para descrição das características morfológicas dos perfis (Lemos & Santos, 1996).

As análises físicas foram processadas segundo o descrito por Embrapa (1996), onde foram avaliadas a presença e porcentagem de: areia muito grossa (AMG), areia grossa (AG), areia média (AM), areia fina (AF), areia muito fina (AMF), areia total (AT), argila, silte e textura do solo.

As análises químicas foram conduzidas de acordo com o proposto por Raij et al. (1987), determinando-se o índice de acidez (pH), teor do matéria orgânica (M.O), teor de fósforo (P), teor de alumínio ( $Al^{3+}$ ), acidez trocável (H+Al), teor de potássio (K), teor de cálcio (Ca), teor de magnésio (Mg), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%).

Após a primeira análise, verificou-se que havia a necessidade da coleta de mais amostras para a definição dos limites entre as classes de solos, desta forma, voltou-se novamente ao campo para coleta de amostras em pontos previamente definidos.

A seguir, os limites de cada mancha de solo foram extraídos dos aerofotogramas e desenhados sobre papel vegetal, na escala de 1:50.000. Neste papel vegetal, foram também inseridas informações referentes à malha UTM para posterior georreferência neste sistema.

Este mapa, com as manchas de solos, foi então digitalizado por partes através de scanner, sendo estas partes em seguida montadas no formato original utilizando-se o aplicativo Adobe Photoshop.

O mapa em formato digital foi convertido para o formato .img e, em seguida, georreferenciado na projeção UTM.

Depois de georreferenciado, todas as manchas de solos foram digitalizadas através do módulo de digitalização na tela do Idrisi, sendo cada tipo de solo associado a um determinado identificador.

A última etapa da confecção do mapa de solos foi a de ajuste de limites, que foi feita de acordo com o resultado de todas as análises laboratoriais. Este ajuste



foi efetuado digitalizando-se novos polígonos nos locais onde os limites deveriam ser mudados e, em seguida, rasterizando estes polígonos sobre a imagem das classes de solos.

### **3.2.3 Levantamento das curvas de nível**

As curvas de nível foram digitalizadas de 20 em 20 metros a partir das cartas topográficas 1:50.000.

O primeiro passo para a execução deste trabalho foi a conversão das cartas topográficas do formato analógico para o digital, através do scanner. Como o único scanner disponível apresentava formato A4, as cartas foram digitalizadas por partes que foram depois novamente montadas, já no formato digital, com o auxílio do aplicativo Adobe Photoshop.

As classes de declividade foram obtidas através da digitalização e interpolação das curvas de nível do Município. Na Figura 5 são apresentadas as curvas de nível ainda não digitalizadas, e na Figura 6 podemos observar as linhas digitalizadas com as diferentes cotas em diferentes cores.

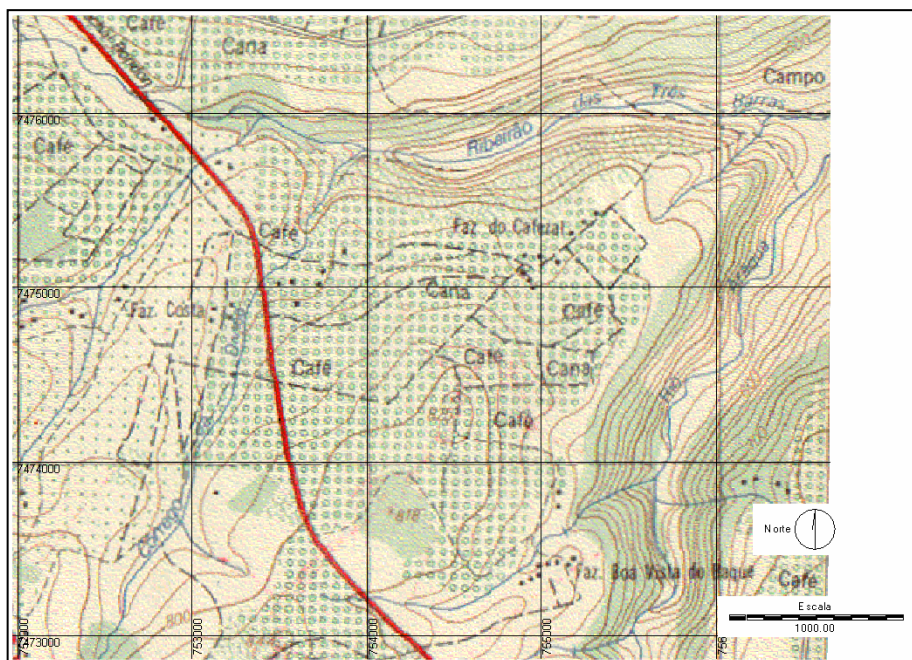


Figura 5 – Carta topográfica georreferenciada antes da digitalização das curvas de nível.

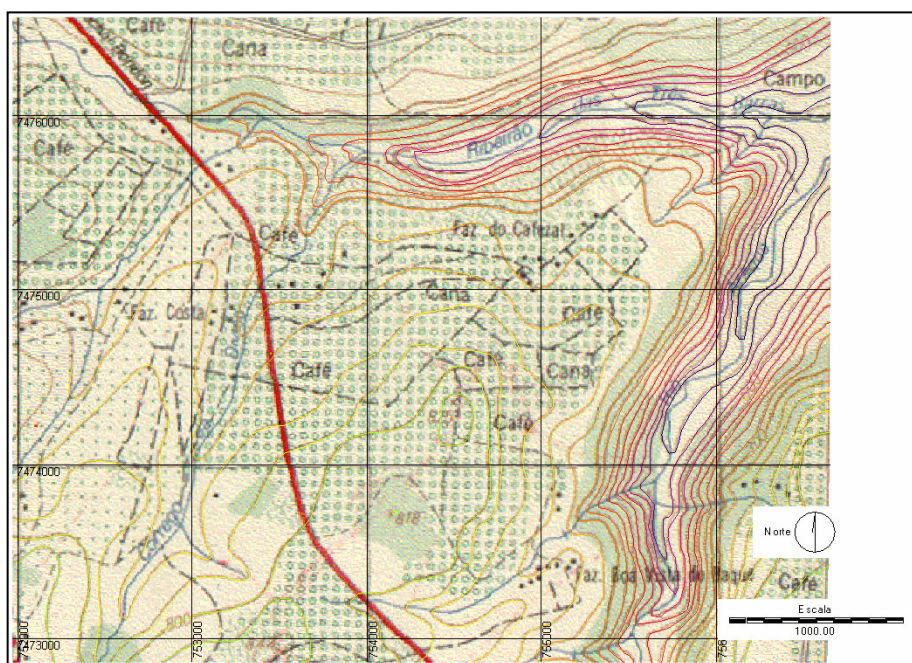


Figura 6 – Carta topográfica georreferenciada mostrando as curvas de nível digitalizadas.

A digitalização das curvas de nível foi executada sobre as cartas topográficas georreferenciadas individualmente. Os arquivos contendo as curvas de nível de cada carta, foram juntados em uma etapa posterior utilizando-se o aplicativo Arc-View.

Cada uma das cartas no formato digital foi convertida para o formato .img do Idrisi e, em seguida, georreferenciada no sistema de projeção UTM, faixa 22 S.

As curvas de nível foram digitalizadas sobre estas cartas georreferenciadas, tendo definidos como identificadores, os valores de suas cotas. Este procedimento foi efetuado através do módulo de digitalização na tela do Idrisi.

Após as curvas de nível de todo município terem sido digitalizadas, as mesmas foram analisadas e ajustadas utilizando-se o aplicativo Arc-View, onde as cartas topográficas digitais e georreferenciadas foram abertas e sobre elas foi acrescentado o arquivo das curvas de nível. Desta forma, foi possível fazer alguns ajustes relativos a problemas de digitalização das curvas. Este procedimento foi efetuado no Arc-View devido ao mesmo apresentar possibilidades de edição mais fáceis do que as do Idrisi.

### **3.2.4 Interpolação das curvas de nível**

A próxima etapa foi a interpolação das curvas de nível. Esta interpolação foi efetuada através do Idrisi, utilizando-se a metodologia TIN (Triangular Irregular Network). O processo consistiu no uso do arquivo vetorial contendo as curvas de nível no módulo *TIN interpolation*, que efetuou a interpolação. Em seguida, fez-se o cálculo de declives no módulo *surface* e finalmente usando-se o módulo de reclassificação de valores, *reclass*, os valores interpolados foram agrupados nos intervalos de classes de declividade de 0-

3, 3-6, 6-12, 12-20, 20-40 e >40%. O mapa de declividade, calculado em porcentagem, foi executado a partir do modelo digital de elevação, sendo as classes de declive determinadas a partir do agrupamento dos valores acima. Estes valores são indicados para estudos de conservação de solo, e tem suas características descritas no Quadro 3

Quadro 3 - Intervalos de classe de declive para fins de conservação de solos segundo Lepsch et al. (1991).

Intervalo	Relevo	Cor característica
0 a 3%	Plano	Verde claro
3 a 6%	Suave ondulado	Amarelo
6 a 12%	Ondulado	Vermelho
12 a 20%	Forte ondulado	Azul
20 a 40%	Montanhoso	Verde escuro
> 40%	Escarpado	Roxo

O último passo para a criação do mapa de declives, consistiu na aplicação de filtro de moda 7 x 7 e de mediana 5 x 5 com a finalidade de excluir manchas muito pequenas e de suavizar as fronteiras de cada classe de declive. Este filtro foi aplicado usando-se o módulo *context operators/filter*.

### 3.2.5 Elaboração do mapa de capacidade de uso

As classes de capacidade de uso da área de estudo foram determinadas de acordo com o sistema de classificação constante do Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso. Para a classificação, seguiu-se os critérios constantes do quadro de julgamento confeccionado conforme França (1963) e Lepsch et al. (1991) e, de acordo com adaptação regional compilada

por Zimback & Rodrigues (1993) (Quadro 4). Neste quadro, relaciona-se uma classe de capacidade de uso para cada critério do parâmetro de limitação em questão.

Quadro 4 - quadro de julgamento das classes de capacidade de uso das terras.

Limitação	Critérios	Classes de capacidade de uso								Limitação	Critérios	Classes de capacidade de uso							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
F A	Muito alta	x								P D	Excessiva		x						
	Alta	x									Boa	x							
	Média		x								Moderada		x						
	Baixa			x							Pobre			x					
	Muito Baixa						x				Muito pobre					x			
P E	>200cm	x								Def.	Muito rápido			x					
	100 – 200 cm	x									Rápido				x				
	50 – 100cm		x								Moderado		x						
	25 – 50cm				x						Lento	x							
	< 50cm						x				Muito lento		x						
Ped.	Sem Pedras	x								Dec.	0 a 3%	x							
	<1%		x								3 a 6%		x						
	1 – 10%			x							6 a 12%			x					
	10 – 30%				x						12 a 20%				x				
	30 – 50%						x				20 a 40%						x		
E L	>50%							x		R. I.	>40%							x	
	Não aparente	x									Sem risco	x							
	Ligeira		x								Ocasional			x					
	Moderada			x							Frequente					x			
	Severa						x				Muito freq.								x
E S R	Muito severa							x		E S M	---								
	Extrem. Sev.								x		---								
	Não aparente	x									Não aparente	x							
	Ocasionais		x								Ocasionais			x					
	Frequentes			x							Frequentes				x				
E S P	Muito freq.				x					Muito freq.					x				
	Não aparente	x								Não aparente	x								
	Ocasionais				x					Ocasionais					x				
E S P	Frequentes					x			V	Frequentes							x		
	Muito freq.							x			Muito freq.							x	

F. A. = Fertilidade aparente; P. E. = Profundidade efetiva; P. D. = Permeabilidade e drenagem; Def. = Deflúvio; Ped. = Pedregosidade; R. I. = Risco de inundação; Dec. = declividade; E. L. = Erosão laminar; E. S. R = Erosão em sulcos rasos; E. S. M = Erosão em sulcos médios; E. S. P = Erosão em sulcos profundos; e, V = Erosão em voçorocas.

Para a avaliação dos parâmetros constantes do Quadro 3, foram considerados os seguintes critérios:

- 1) Fertilidade aparente: foi baseada nos valores de pH, V% (teor de saturação por bases), CTC (capacidade de troca catiônica) e matéria orgânica.
- 2) O parâmetro profundidade efetiva foi determinado para cada tipo de solo segundo a descrição morfológica de cada solo, constante o levantamento de solos realizado por

Zimback & Rodrigues(1993).

- 3) A permeabilidade e drenagem interna foi estabelecida a partir das propriedades físicas de cada tipo de solo, principalmente a textura, constantes das análises integrantes do referido levantamento.
- 4) O parâmetro deflúvio foi analisado em função de dois fatores principais que interferem na sua intensidade: infiltração e declividade para cada tipo de solo.

A infiltração varia com o tipo de solo, decrescendo na sua intensidade de Nitossolo Vermelho distroférico (Terra Roxa Estruturada) para Gleissolos Háplicos (hidromórficos), conseqüentemente quanto maior a infiltração menor a contribuição para o deflúvio. O critério de atribuição de notas para o fator “infiltração” está relacionado especificamente ao potencial de infiltração apresentado por cada tipo de solo mapeado para o Município, independentemente de haver outros solos que apresentem maior ou menor intensidade de infiltração do que os solos existentes e constantes no levantamento. A declividade participa de forma diretamente proporcional na intensidade do deflúvio, de modo que quanto menor a declividade, menor a contribuição para a totalidade do deflúvio. As notas atribuídas aos dois fatores estão expostas no Quadro 5.

Quadro 5 - Atribuição de notas para os dois fatores contribuintes para a classificação do parâmetro “deflúvio”.

Tipo de solo	Contrib. p/ Deflúvio	Declividade	Contrib. p/ Deflúvio
NVdf	1	0 - 3 %	1
(LVdf), LVAd2	2	3 - 6 %	2
LVd, LVAd1, RUbd, RQo	3	6 - 12 %	3
PVAd1	4	12 - 20 %	4
PVAd2, RLe	5	20 - 40 %	5
GXbd	6	> 40	6

NVdf - Nitossolo Vermelho distroférico, LVdf - Latossolo Vermelho distroférico, LVAd2 - Latossolo Vermelho amarelo distrófico textura argilosa, LVd - Latossolo Vermelho distrófico, LVAd1 - Latossolo Vermelho amarelo distrófico textura média, RUbd - Neossolo Flúvico Tb distrófico, RQo - Neossolo Quartzarênico órtico típico, PVAd1 - Argissolo Vermelho amarelo distrófico textura média/arenosa, PVAd2 - Argissolo Vermelho amarelo distrófico abrupto, RLe - Neossolo Litólico eutrófico, GXbd - Gleissolo Háplico Tb distrófico.

A somatória da combinação destes dois fatores forneceu um valor máximo de 11 e valor mínimo de 2 pontos. Adotou-se a distribuição dos intervalos nos quais cairiam os resultados da somatória dos dois fatores de acordo com o Quadro 6.

Quadro 6 - Intervalos para enquadramento dos critérios de deflúvio.

Intervalo	Critério de deflúvio	Classe
2 - 3	Muito lento	II
4 - 5	lento	I
6 - 7	moderado	II
8 - 9	rápido	III
10-11	Muito rápido	IV

- 5) O parâmetro pedregosidade foi determinado para cada tipo de solo segundo a descrição morfológica de cada solo, constante o levantamento de solos realizado por Zimback & Rodrigues (1993).
- 6) O risco de inundação foi determinado a partir de observações de campo realizadas por Zimback & Rodrigues (1993).
- 7) O item declividade do terreno indica a classe de capacidade de uso pela própria classe de declive em que se encontra a área.

8) Os tipos de erosão encontrados em cada solo tiveram os critérios de limitação definidos a partir de observações de campo.

O enquadramento das áreas quanto aos critérios de limitação da Quadro de julgamento neste processo de classificação seguiu também as recomendações constantes do Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso (Lepsch et al., 1991), bem como as orientações contidas no Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Lemos & Santos, 1996).

De posse da relação das classes de deflúvio, identificadas para cada tipo de solo procedeu-se à elaboração do quadro de determinação das classes de capacidade de uso para cada área isoladamente (Quadro 7), obedecendo os critérios estabelecidos para cada parâmetro limitante. Uma vez definida a classe para cada fator limitante, o que apresentava a classe mais alta indicava a classe de capacidade de uso dentro da qual deveria finalmente ser classificada a respectiva área. As subclasses, dadas em função dos parâmetros que indicaram o valor final para a classificação, seguiram também as indicações contidas no Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso (Lepsch et al., 1991), conforme ilustrado no Quadro 7.



Quadro 7 - Limitações de uso para definição das subclasses.

Limitações de uso			
e	s	a	c
- declive acentuado	- pouca profundidade	- lençol freático elevado	- seca prolongada
- declive longo	- textura arenosa em todo o perfil	- risco de inundação	- geada
- mudança textural abrupta	- pedregosidade	- subsidência em solos orgânicos	- ventos frios
- erosão laminar	- argilas expansivas	- deficiência em solos orgânicos	- granizo
- erosão em sulcos	- baixa saturação por bases	- deficiência de oxigênio no solo	- neve
- erosão em voçorocas	- toxicidade de alumínio		
- erosão eólica	- baixa capacidade de troca		
- depósitos de erosão	- ácidos sulfatados ou sulfetos		
- permeabilidade baixa	- alta saturação com sódio		
- horizonte A arenoso	- excesso de sais solúveis		
	- excesso de carbonatos		

Após definidas as classes de capacidade, para cada local do mapa, procedeu-se a reclassificação dos píxeis, juntando-os em um mesmo identificador para cada classe.

Para a visualização e impressão do mapa final, contendo as classes de capacidade de uso de toda a área estudada, foram definidas as cores correspondentes a cada classe, sugeridas por Lepsch et al. (1991), listadas a seguir no Quadro 8.

Quadro 8 - Cores características para representação de classes de capacidade de uso.

Classe	Cor característica	Classe	Cor característica
I	Verde claro	V	Verde escuro
II	Amarelo	VI	Alaranjado
III	Vermelho	VII	Marrom
IV	Azul	VIII	Roxo

Efetou-se o cruzamento do mapa de classes de capacidade de uso com o mapa de uso atual oriundo da classificação da imagem. Da análise das várias combinações obteve-se aquelas com uso conflitante em relação à classe de capacidade de uso, procedendo-se ao agrupamento das combinações para a visualização destas áreas.

### 3.2.6 Levantamento do uso atual da terra

A análise do uso atual da terra no Município, foi efetuada sobre a imagem do sensor Thematic Mapper instalado no satélite Landsat 5, órbita ponto 220/076, quadrante A de 18 de setembro de 1999. Nesta análise, foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5, que correspondem às faixas do vermelho visível, infravermelho próximo e infravermelho médio, respectivamente. Essas três bandas são as comumente utilizadas em classificação de imagens de satélite para análises agrícolas e ambientais, por reunirem a porção mais significativa das informações de resposta espectral captadas pelo satélite nestas áreas. A verificação das classes de cobertura foi feita preliminarmente através de uma classificação não supervisionada, com o objetivo de obter um número aproximado das classes que se destacavam.

Em seguida, passou-se à classificação supervisionada, onde foram digitalizados conjuntos de *pixels* representativos de cada classe de uso da terra. Estes polígonos serviram de referência para o processo de classificação da imagem posterior. As amostras foram demarcadas sobre a composição falsa cor RGB 24 bits, que oferece boa caracterização das coberturas de solo existentes.

A classificação foi efetuada em todo o quadrante da imagem, com o objetivo de ter maior opção de amostras, sendo definido o uso para cada polígono de referência conforme o reconhecimento das feições predominantes na imagem 24 bits.

O método de classificação utilizado neste trabalho foi o de Maxver (máxima verossimilhança). Nele, os valores de reflectância de uma área de treinamento são descritos por uma função de densidade de probabilidade, baseada na estatística Bayesiana.

Este classificador verifica a probabilidade que um *pixel* tem de pertencer a uma determinada classe e o classifica na categoria que tiver maior probabilidade. A classificação foi efetuada através dos módulos *image processing*, *signature development* e *hard classifiers*. Como o resultado ficou aquém do esperado, entrou-se com a adição de máscaras definindo-se o uso em locais conhecidos por levantamentos efetuados no campo. O resultado desta classificação foi avaliado estatisticamente através do uso do índice Kappa.

### **3.2.7 Avaliação da exatidão do mapeamento**

Neste trabalho seguiu-se o procedimento sugerido por Eastman (1999) e por Simões (2001).

O primeiro passo consistiu na geração de pontos de amostragem aleatoriamente estratificados, através do módulo *Sample*. A ocupação da terra no *pixel* referente à cada ponto foi identificada e o próximo passo foi a criação de um arquivo de valores relacionando os pontos amostrais à verdade terrestre. Estes dois arquivos foram associados e em seguida rasterizados, gerando uma imagem raster com a verdade terrestre. A seguir, no módulo *Errmat* analisou-se estatisticamente a classificação supervisionada confrontando a imagem contendo a verdade terrestre com a imagem classificada do uso da terra. O resultado desta confrontação é uma matriz de erros e o índice Kappa geral e por categoria.

### **3.2.8 Avaliação do uso atual com relação à capacidade de uso da terra**

A última etapa do trabalho consistiu no cruzamento dos mapas de uso atual da terra e de capacidade de uso, objetivando a identificação de áreas conflitantes entre uso atual e capacidade de uso de cada classe de terra ocorrente no município.

Para facilitar a visualização e interpretação dos resultados, as classes de capacidade de uso da terra foram separadas individualmente, através de processo de reclassificação, onde cada classe de capacidade foi separada das demais, recebendo identificador com valor 1. Desta forma, ao multiplicar-se este mapa com o mapa de uso atual da terra, o resultado será o uso atual na classe de capacidade que está sendo avaliada.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 GEORREFERÊNCIA DA IMAGEM DO SATÉLITE LANDSAT 5

A georreferência da imagem do satélite Landsat 5 foi feita coletando-se 12 pontos de controle sobre as cartas topográficas que abrangem toda área coberta pela imagem (Quadro 9)

Quadro 9 – Coordenadas de imagem e da projeção UTM utilizadas para georreferência da imagem.

X da imagem	Y da imagem	Coordenada E - UTM	Coordenada N - UTM
126,9733620	3.042,755721	734109,085936	7518629,211055
2.628,044657	2.910,200721	808019,212304	7501329,996280
1.881,898653	2.376,016353	781764,842524	7489175,009788
1.411,316540	1.480,968021	761174,075092	7464694,657264
97,11503900	477,25241200	714503,328778	7441411,218532
1.284,936610	846,94393700	752752,549633	7446243,966313
2.506,813292	521,69498700	786922,547134	7429933,899431
2.411,567569	2.089,623355	795518,241490	7477727,577309
201,9848030	1.642,218709	726146,536402	7476004,497305
150,7371130	555,1177300	711125,487452	7444400,525897
1.151,162659	703,2046200	742325,568972	7443450,452356
2.803,610695	2.885,420635	807650,502391	7500275,495812

Com a utilização destes pontos de controle obteve-se um erro médio quadrático (RMS) de 0,436112, para uma resolução final de 25 m. No caso desta resolução, o RMS máximo aceitável, era de 12,5 m.

A Figura 7 mostra o resultado do georreferenciamento do quadrante A da imagem do satélite Landsat 5 e o layer destacando o município de Botucatu, no centro da imagem.

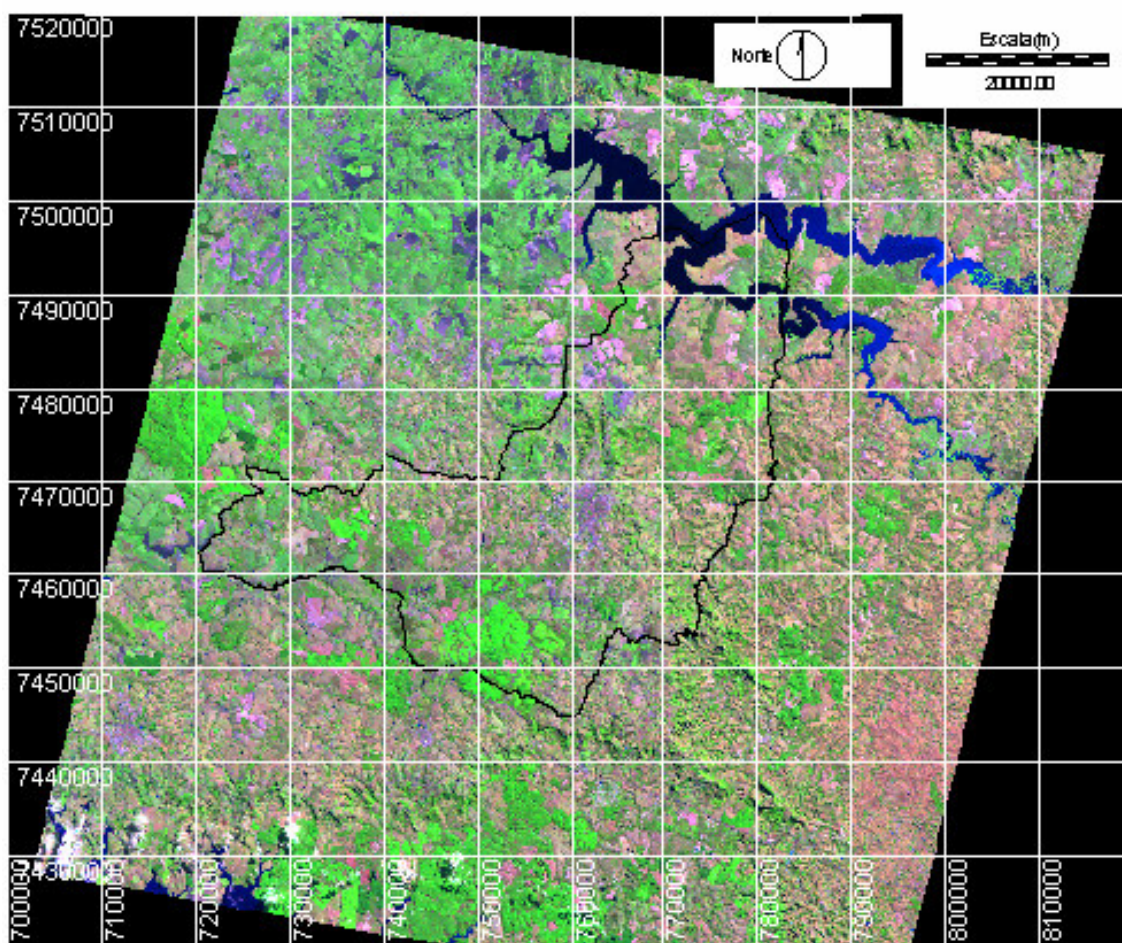


Figura 7 – Imagem do satélite Landsat 5, órbita 220, ponto 076, quadrante A georreferenciada contendo o layer (camada) que destaca o município de Botucatu, no centro. A unidade da escala é

## **4.2 DIGITALIZAÇÃO DO LIMITE DO MUNICÍPIO**

O processo de digitalização do limite do Município possibilitou o cálculo da área de terras ocupada por Botucatu.

### **4.2.1 Área do Município de Botucatu**

A área total encontrada para o Município de Botucatu foi de 1.465,65 km<sup>2</sup>.

## **4.3 LEVANTAMENTO DAS CLASSES DE SOLOS**

No Quadro 10 são apresentados os valores médios referentes às análises granulométricas de cada classe de solo, das camadas com profundidades superiores a 60 cm, faixa que tem importância definitiva sobre a classificação do solo.

Quadro 10 - Análise granulométrica média das classes de solos identificadas no Município de Botucatu - SP.

Classe de solo	Composição granulométrica da terra fina (%)							
	AMG	AG	AM	AF	AMF	AT	A	S
NVdf	Traços	1	8	9	5	23	67	10
LVdf	Traços	1	7	24	8	40	54	6
LVd	Traços	4	33	27	9	73	25	2
LVAd 1	Traços	4	32	27	17	80	18	2
LVAd 2	4	9	20	14	11	58	42	0
PVAd 1	Traços	3	29	28	15	75	22	3
PVAd 2	Traços	0	8	46	19	73	26	1
RQo típico	Traços	5	39	36	8	88	11	1
RUBd	Traços	1	61	21	5	88	12	0
GXbd	Traços	2	19	34	10	65	30	5
RLe	1	3	7	9	7	27	51	22

AMG- areia muito grossa; AG- areia grossa; AM- areia média; AF- areia fina; AMF- areia muito fina; AT- areia total; S- Silte; A- argila.

No Quadro 11 são apresentados os valores médios referentes às análises químicas de cada classe de solo, das camadas com profundidades superiores a 60 cm.

Quadro 11 - Análise química média das classes de solos identificadas no Município de Botucatu - SP.

Classe de solo	PH	M.O	P <sub>resina</sub>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V %
	CaCl <sub>2</sub>	g/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mmol/dm <sup>3</sup>							
NVdf	4,5	17	2	2	41	0,3	10	6	16	57	26
LVdf	4,0	14	1	10	68	0,4	5	2	7	75	11
LVd	4,1	11	1	6	33	0,3	4	1	6	39	20
LVAd 1	4,3	10	1	6	25	0,3	6	3	9	33	18
LVAd 2	4,1	19	1	6	22	0,3	3	0	3	26	12
PVAd 1	4,3	6	2	7	30	0,3	9	3	12	42	27
PVAd 2	3,9	7	1	52	205	1,1	8	6	16	221	7
RQo típico	4,2	7	2	5	26	0,3	4	2	7	33	21
RUBd	4,0	9	1	7	29	0,1	3	3	7	36	19
GXbd	4,3	17	6	9	55	0,5	13	4	17	71	18
RLe	5,0	25	42	12	75	2,6	75	28	105	180	56

pH- índice de acidez; M.O- teor do matéria orgânica, P<sub>resina</sub>- teor de fósforo, Al<sup>3+</sup>- teor de alumínio H+Al – acidez trocável, K- teor de potássio, Ca- teor de cálcio; Mg- teor de magnésio; SB- soma de bases, CTC- capacidade de troca catiônica; V %- saturação por bases.

De posse deste conjunto de informações, confirmou-se algumas manchas de solos e definiu-se os novos contornos de outras. Com os resultados deste conjunto de análises, identificou-se as classes de solos ocorrentes no Município de Botucatu - SP. Estas classes são apresentadas na Figura 8 e no Quadro 12, onde são apresentados também a área e o



percentual ocupado por cada classe, discriminadas de acordo com os conceitos definidos por Embrapa (1999).

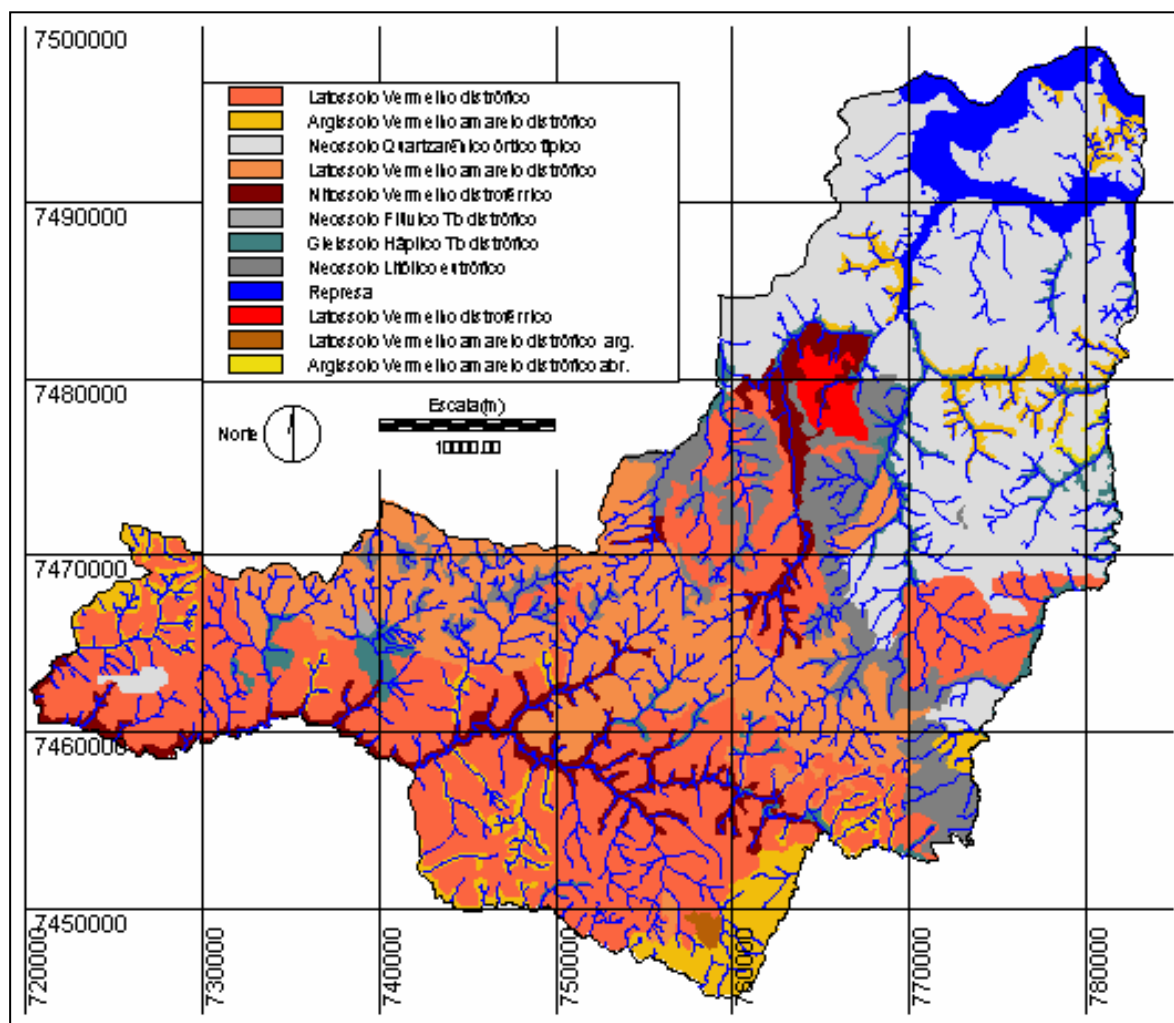


Figura 8 – Distribuição das classes de solos e da rede de drenagem do Município de Botucatu.

Quadro 12 – Classe de solo, área total e porcentagem representada por cada classe de solo e pela represa no Município de Botucatu

Classe de solo	Área total (km <sup>2</sup> )	(%)
Nitossolo Vermelho distroférico (NVdf)– textura argilosa	84,98	5,80
Latossolo Vermelho distroférico (LVdf)– textura argilosa	11,79	0,80
Latossolo Vermelho distrófico (LVd)– textura média	405,98	27,71
Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd <sub>1</sub> )- textura média	242,64	16,55
Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd <sub>2</sub> )- textura argilosa	2,71	0,18
Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (PVAd <sub>1</sub> )– textura média/arenosa	116,09	7,92
Argissolo Vermelho Amarelo distrófico abrupto (PVAd <sub>2</sub> )–	1,94	0,13
Neossolo Quartzarênico órtico (RQO <sub>típico</sub> )	358,65	24,47
Neossolo Flúvico Tb distrófico (RUbd)	1,12	0,08
Gleissolo Háptico Tb distrófico (GXbd)	58,10	3,96
Neossolo Litólico eutrófico (RLe)	122,64	8,37
Represa	59,01	4,03

Conforme pode ser observado na Figura 8 e no Quadro 12, a classe de solo que apresenta maior percentual de cobertura é a do Latossolo Vermelho distrófico (LVd), que tinha como denominação anterior Latossolo Vermelho Escuro (LE), segundo proposto por Embrapa (1988). Esta classe apresenta uma distribuição bastante homogênea por toda região Sudoeste do Município, correspondendo a 27,71% da área total do Município.

A classe Neossolo Quartzarênico órtico típico (RQO<sub>típico</sub>) cobre um percentual de 24,47, cobrindo principalmente a região Nordeste do Município. Somando-se as áreas destas duas classes, observamos que as mesmas cobrem mais da metade de Botucatu (52,18%). Estas duas classes estão distribuídas nas regiões de menor altitude do Município, circundando a Cuesta.

Ao somarmos as áreas destas duas classes com a área ocupada pela classe Latossolo Vermelho Amarelo distrófico – textura média (LVAd<sub>1</sub>), que cobre 16,55% da área de Botucatu, chegamos a uma caracterização da maior parte do Município, ou seja, estas três classes cobrem 68,73 % da área total, dando a caracterização geral dos solos de Botucatu.

Esta última classe está localizada nas terras que acompanham a Cuesta e chega em alguns pontos as altitudes mais elevadas na parte superior da encosta. Esta classe de solo corta o Município de Noroeste para Sudeste praticamente dividindo-o em dois.

O Latossolo Vermelho Amarelo distrófico – textura argilosa (LVAd<sub>2</sub>), está presente em apenas uma mancha no Sul do Município, a Leste da rodovia conhecida como Castelinho.

O Argissolo Vermelho Amarelo distrófico - textura média/arenosa (PVAd<sub>1</sub>), cobre 7,92% de Botucatu e está distribuído principalmente próximo aos rios sobretudo nas regiões Norte e Oeste. O Argissolo Vermelho Amarelo distrófico – abrupto (PVAd<sub>2</sub>) está localizado apenas na região Leste do Município próximo à divisa com o município de Anhembi, acompanhando o Rio Alambari, cobrindo um percentual de 0,13% de Botucatu.

O Nitossolo Vermelho distroférico - textura argilosa (NVdf) cobre 5,80 % do Município e distribui-se ao longo do Rio Lavapés desde a área urbana de Botucatu, até próximo da foz deste rio na barragem de Barra Bonita ao norte do Município. Distribui-se ainda, ao longo do Rio Pardo, acompanhando-o desde a sua entrada a Sudeste do Município, até o Oeste na divisa com o município de Avaré.

O Latossolo Vermelho distroférico - textura argilosa (LVdf) cobre 0,80% do Município e está localizado ao Norte da cidade de Botucatu, em uma região de altitudes menos elevadas, abaixo da Cuesta, entre os Rios Lavapés e Capivara.

O Neossolo Flúvico Tb distrófico (RUbd), localiza-se no Oeste do Município, ocupando uma única mancha entre o Córrego da Lagoa Suja e o Córrego do Bruno, Cobrindo 0,08% ou 1,17 km<sup>2</sup> da área do Município.

O Gleissolo Háptico Tb distrófico (GXbd) abrange 3,96 % da área do Município e está localizado ao longo de alguns rios em regiões de baixadas.

O Neossolo Litólico eutrófico (RLe) ocupa 8,37% da área total de Botucatu cobrindo sobretudo as regiões de altas declividades ao longo da Cuesta e de alguns rios. A exemplo da classe LVAd<sub>1</sub>, O RLe corta o Município de Noroeste para Sudeste dividindo-o também em dois.

Além das classes de solo, é importante destacar que 4,03% da área do Município está coberta atualmente pela represa de Barra Bonita, situada ao Norte de Botucatu.

#### **4.4 LEVANTAMENTO DAS CLASSES DE DECLIVE**

A Figura 9 apresenta o arquivo contendo as curvas de nível de todo o Município digitalizadas com equidistância de 20 m.

O resultado da interpolação pelo módulo *TIN Interpolation* pode ser observado na Figura 10, onde estão representadas as classes de declives interpoladas e reclassificadas com o objetivo de definir os intervalos de classes de declive propostos para este trabalho.

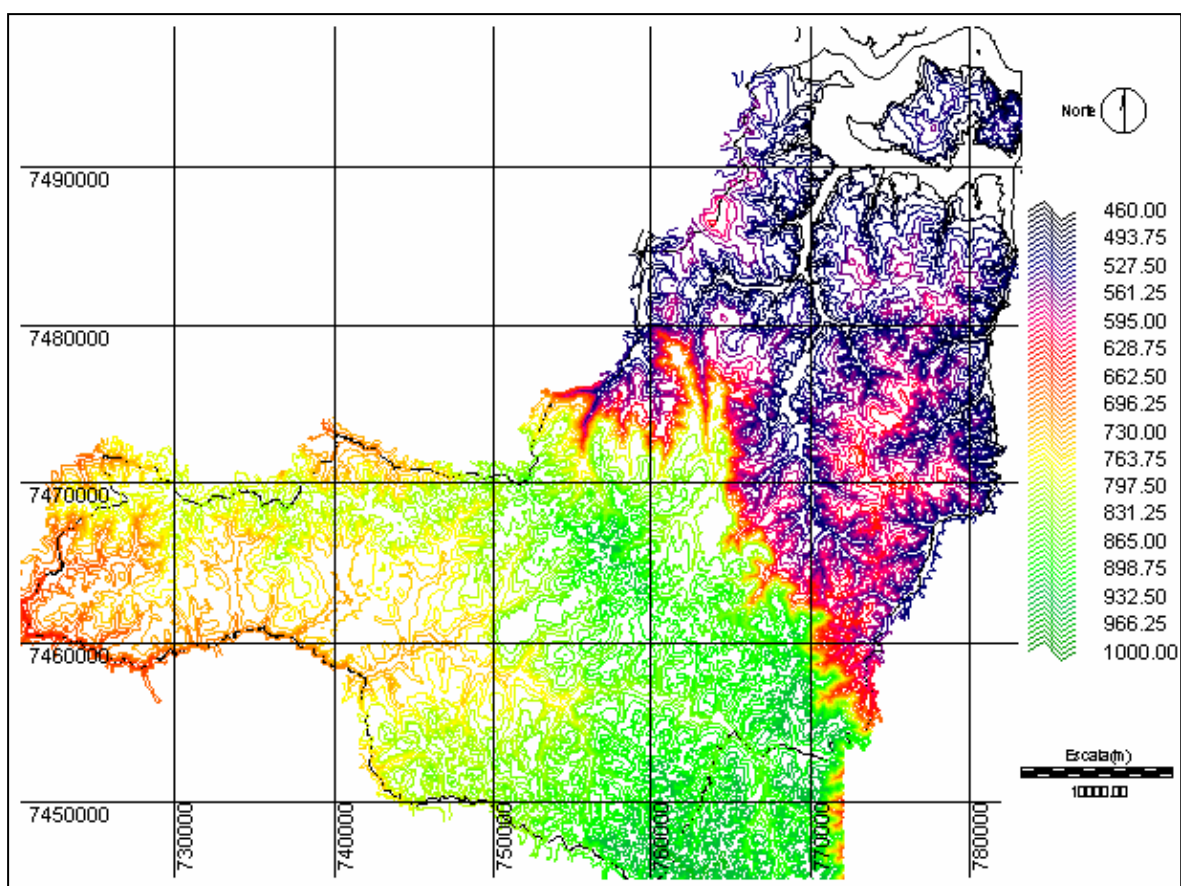


Figura 9 – Curvas de nível digitalizadas de 20 em 20 metros cobrindo todo o Município de Botucatu.

A interpolação das curvas de nível resultou no mapa de classes de declive, que é apresentado na Figura 10. O Quadro 13 mostra as áreas de cada classe de declive obtidos após esta interpolação.

Quadro 13 – Classes de declive e respectivas áreas no Município de Botucatu.

Declividade (%)	Área total (km <sup>2</sup> )	Porcentagem da área total (%)
0 – 3	231,44	15,79
3 – 6	410,21	27,99
6 – 12	557,44	38,04
12 – 20	182,52	12,45
20 – 40	77,90	5,31
> 40	6,14	0,42

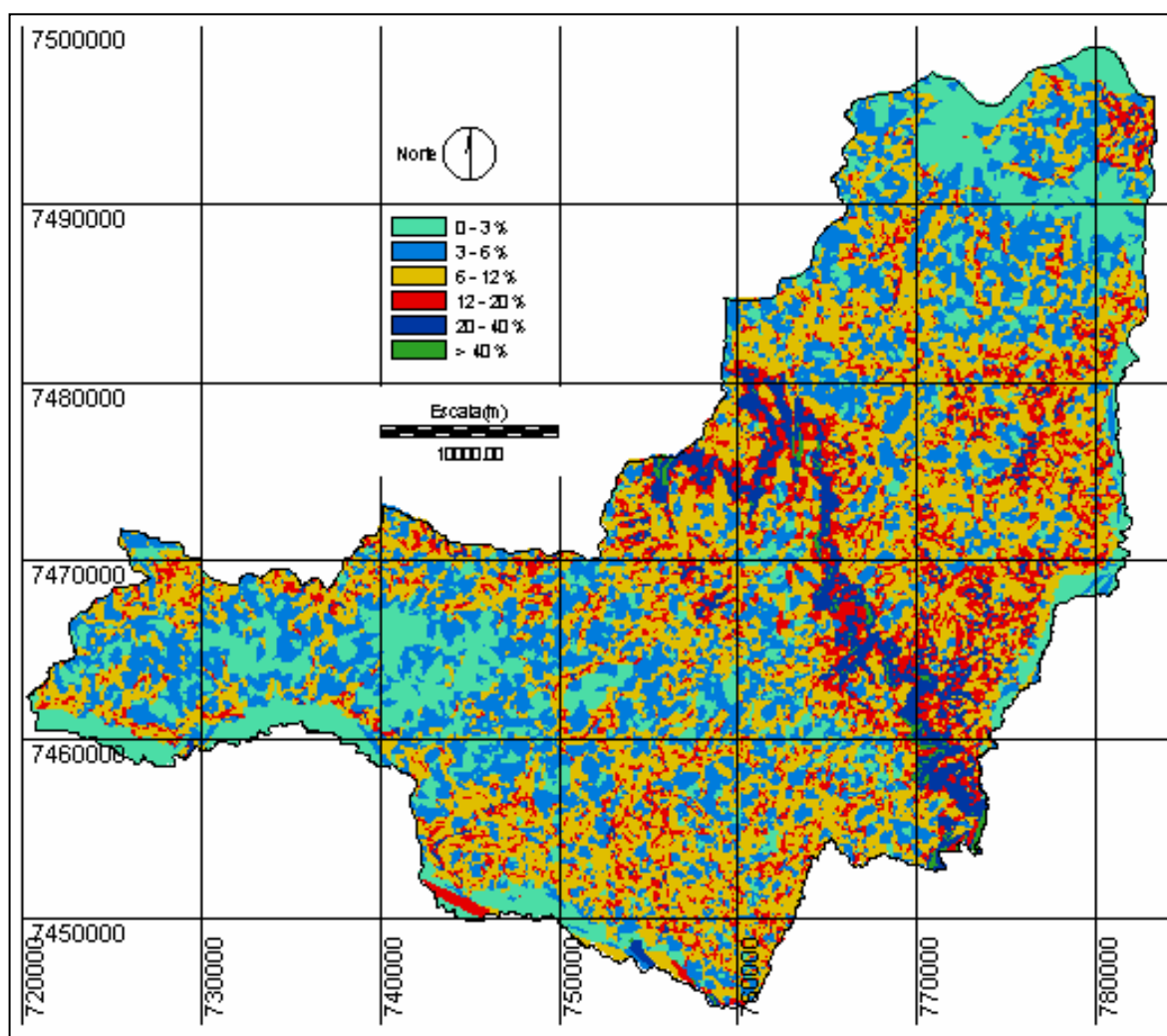


Figura 10 – Distribuição das classes de declive sobre o Município de Botucatu.

De acordo com a Figura 10, pode-se observar que as áreas de maior declividade, 20-40 e acima de 40% estão localizadas principalmente ao longo da Cuesta e em

alguns locais às margens de rios. Estas duas classes representam 5,73% da área total do Município. Levando-se em consideração apenas o fator declividade, estas são as áreas que merecem maior atenção em relação à sua utilização, pois estes declives permitem a ocorrência de erosão em praticamente todos os tipos de solos.

A maior parte do Município, no entanto, situa-se sobre terreno relativamente plano, sendo que as classes de declive de 0 até 12 % cobrem 81,82 % da área total do Município.

Com 12,45% da área total, a classe de declive de 12 a 20% está distribuída em toda a área de Botucatu, ao longo da Cuesta e nas proximidades da maioria dos rios. Estes são locais que merecem grande atenção, pois nesta declividade já ocorrem grandes problemas de erosão ao se utilizar estas terras para culturas agrícolas e agropecuária, isto é, se não forem tomadas medidas de proteção do solo.

#### **4.5 LEVANTAMENTO DAS CLASSES DE CAPACIDADE DE USO DA TERRA**

Partindo-se dos resultados do levantamento de solos e das classes de declive, passou-se à execução do levantamento das classes de capacidade de uso da terra do Município.

O procedimento de classificação das classes foi baseado no mapa de deflúvio, pois o mesmo é resultado do cruzamento entre as classes de solo, com suas diferentes infiltrações e de declives. A partir do mesmo, os demais parâmetros foram sendo

avaliados através da tabela de julgamento até chegar-se à classe de capacidade de uso da terra, conforme pode ser observado no Quadro 14.

Quadro 14 - Determinação das classes de capacidade de uso pelos critérios da tabela de julgamento:

	ÁREAS	F. A.	P. E.	P. D.	Def.	Ped.	R. I.	Dec.	E. L.	E. S.	V.	Classe	subclasse
01	LVd/0-3	III	I	I	I	I	I	I	II	II	I	III	s
02	LVd/3-6	III	I	I	I	I	I	II	II	II	I	III	s
03	LVd/6-12	III	I	I	II	I	I	III	II	II	I	III	s,e
04	LVd/12-20	III	I	I	II	I	I	IV	II	II	I	IV	e
05	LVd/20-40	III	I	I	III	I	I	VI	II	II	I	VI	e
06	LVd/>40	III	I	I	III	I	I	VII	II	II	I	VII	e
07	PVAd1/0-3	III	I	I	I	I	I	I	II	II	I	III	s
08	PVAd1/3-6	III	I	I	II	I	I	II	II	II	I	III	s
09	PVAd1/6-12	III	I	I	II	I	I	III	II	II	I	III	s,e
10	PVAd1/12-20	III	I	I	III	I	I	IV	II	II	I	IV	e
11	PVAd1/20-40	III	I	I	III	I	I	VI	II	II	I	VI	e
12	PVAd1/>40	III	I	I	IV	I	I	VII	II	II	I	VII	e
13	RQo/0-3	III	I	II	I	I	I	I	II	II	I	III	s
14	RQo/3-6	III	I	II	I	I	I	II	II	II	I	III	s
15	RQo/6-12	III	I	II	II	I	I	III	II	II	I	III	s,e
16	RQo/12-20	III	I	II	II	I	I	IV	II	II	I	IV	e
17	RQo/20-40	III	I	II	III	I	I	VI	II	II	I	VI	e
18	RQo/>40	III	I	II	III	I	I	VII	II	II	I	VII	e
19	LVAAd1/0-3	III	I	I	I	I	I	I	II	II	I	III	s
20	LVAAd1/3-6	III	I	I	I	I	I	II	II	II	I	III	s
21	LVAAd1/6-12	III	I	I	II	I	I	III	II	II	I	III	s,e
22	LVAAd1/12-20	III	I	I	II	I	I	IV	II	II	I	IV	e
23	LVAAd1/20-40	III	I	I	III	I	I	VI	II	II	I	VI	e
24	LVAAd1/>40	III	I	I	III	I	I	VII	II	II	I	VII	e
25	NVdf/0-3	III	I	II	II	I	I	I	I	II	I	III	s
26	NVdf/3-6	III	I	II	II	I	I	II	I	II	I	III	s
27	NVdf/6-12	III	I	II	I	I	I	III	I	II	I	III	s,e
28	NVdf/12-20	III	I	II	I	I	I	IV	I	II	I	IV	e
29	NVdf/20-40	III	I	II	II	I	I	VI	I	II	I	VI	e
30	NVdf/>40	III	I	II	II	I	I	VII	I	II	I	VII	e
31	RUBd/0-3	III	I	I	I	I	I	I	II	II	I	III	s
32	RUBd/3-6	III	I	I	I	I	I	II	II	II	I	III	s
33	RUBd/6-12	III	I	I	II	I	I	III	II	II	I	III	s,e
34	GXBd/0-3	III	I	V	II	I	V	I	II	II	I	V	A
35	GXBd/3-6	III	I	V	III	I	V	II	II	II	I	V	A



Quadro 14 - Determinação das classes de capacidade de uso pelos critérios da tabela de julgamento - continuação:

36	GXbd/6-12	III	I	V	III	I	III	III	II	II	I	V	A
37	GXbd/12-20	III	I	V	IV	I	III	IV	II	II	I	V	A
38	RLe/0-3	II	II	III	II	IV	I	I	II	II	I	IV	S
39	RLe/3-6	II	II	III	II	IV	I	II	II	II	I	IV	S
40	RLe/6-12	II	II	III	III	IV	I	III	II	II	I	IV	S
41	RLe/12-20	II	II	III	III	IV	I	IV	II	II	I	IV	s,e
42	RLe/20-40	II	II	III	IV	IV	I	VI	II	II	I	VI	e
43	RLe/>40	II	II	III	IV	IV	I	VII	II	II	I	VII	e
44	LVdf/0-3	III	I	II	II	I	I	I	II	II	I	III	s
45	LVdf/3-6	III	I	II	I	I	I	II	II	II	I	III	s
46	LVdf/6-12	III	I	II	I	I	I	III	II	II	I	III	s,e
47	LVdf/12-20	III	I	II	II	I	I	IV	II	II	I	IV	e
48	LVdf/20-40	III	I	II	II	I	I	VI	II	II	I	VI	e
49	LVAd2/0-3	III	I	I	II	I	I	I	II	II	I	III	s
50	LVAd2/3-6	III	I	I	I	I	I	II	II	II	I	III	s
51	LVAd2/6-12	III	I	I	I	I	I	III	II	II	I	III	s,e
52	LVAd2/12-20	III	I	I	II	I	I	IV	II	II	I	IV	e
53	LVAd2/20-40	III	I	I	II	I	I	VI	II	II	I	VI	e
54	PVAd2/0-3	III	I	III	II	I	I	I	II	II	I	III	s
55	PVAd2/3-6	III	I	III	II	I	I	II	II	II	I	III	s
56	PVAd2/6-12	III	I	III	III	I	I	III	II	II	I	III	s,e
57	PVAd2/12-20	III	I	III	III	I	I	IV	II	II	I	IV	e
58	PVAd2/20-40	III	I	III	IV	I	I	VI	II	II	I	VI	e

(F.A.- Fertilidade aparente; P.E- Profundidade efetiva; P.D- Permeabilidade e drenagem interna; Def- Deflúvio; Ped.- Pedregosidade; R.I- Risco de inundação ; Dec- Declividade; E.L- Erosão laminar; E.S- Erosão em sulcos; V- Voçorocas.)

A partir do resultado do quadro de julgamento anterior, reclassificou-se através do módulo *reclass* do Idrisi, todas as áreas com as mesmas características, juntando as em um mesmo identificador. Obtendo-se desta forma, o mapa de capacidade de uso das terras do Município de Botucatu – SP (Figura 11), com 8 subclasses, que podem ter os resultados observados no Quadro 15 que apresenta as áreas e o percentual ocupado por cada classe de capacidade de uso das terras.

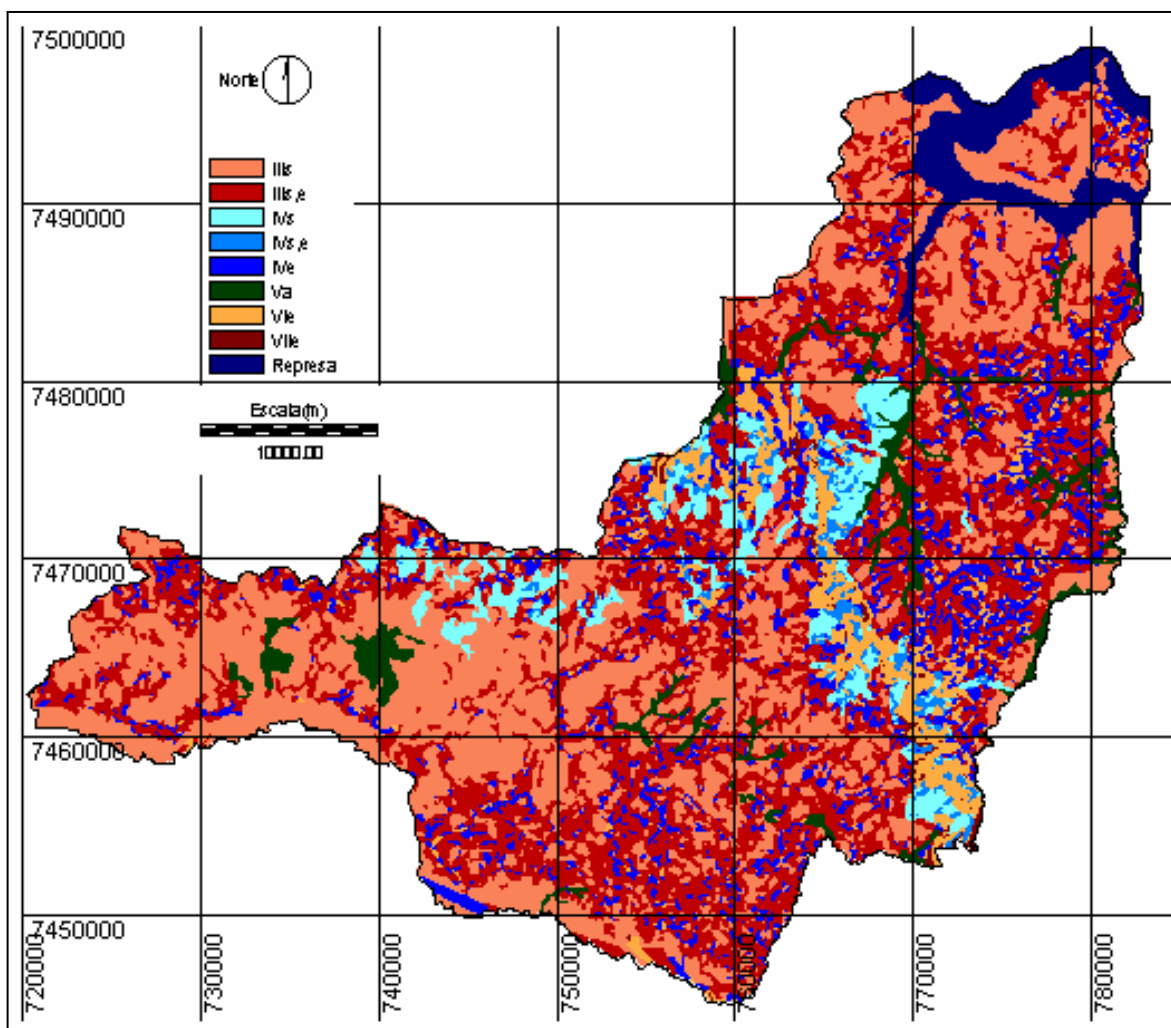


Figura 11 – Distribuição das classes de capacidade de uso da terra no Município de Botucatu.

Quadro 15 – Área e percentual ocupado por cada classe de capacidade de uso da terra.

Classe de capacidade	Área total (km <sup>2</sup> )	Porcentagem da área total (%)
IIIs	537,10	36,64
IIIs,e	497,38	33,93
Ivs	65,45	4,47
IVs,e	22,88	1,56
Ive	142,59	9,73
Va	59,49	4,06
Vie	75,89	5,18
VIIe	5,86	0,40
Represa	59,01	4,03

De acordo com Lepsch et al. (1991), as terras das classes III e IV, pertencem ao grupo A e são terras passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens e ou reflorestamento e vida silvestre. Deve-se, no entanto, tomar diversos cuidados para cada classe e subclasse. No caso deste trabalho, as características e a natureza dos principais cuidados serão discutidas em capítulos posteriores, quando forem avaliados os usos da terra em cada classe de declividade.

Ainda conforme Lepsch et al. (1991), as classes V, VI e VII pertencem ao grupo B, sendo consideradas terras impróprias para cultivos intensivos, mas ainda adaptadas para pastagens ou reflorestamento e ou vida silvestre. A natureza das limitações desta classe serão discutidas posteriormente no capítulo que trata do uso da terra em cada classe de capacidade de uso.

#### **4.6 LEVANTAMENTO DO USO DA TERRA**

A Figura 12 apresenta a distribuição das classes de uso da terra no Município de Botucatu e o Quadro 16 a área total e a porcentagem de cada um destes usos.

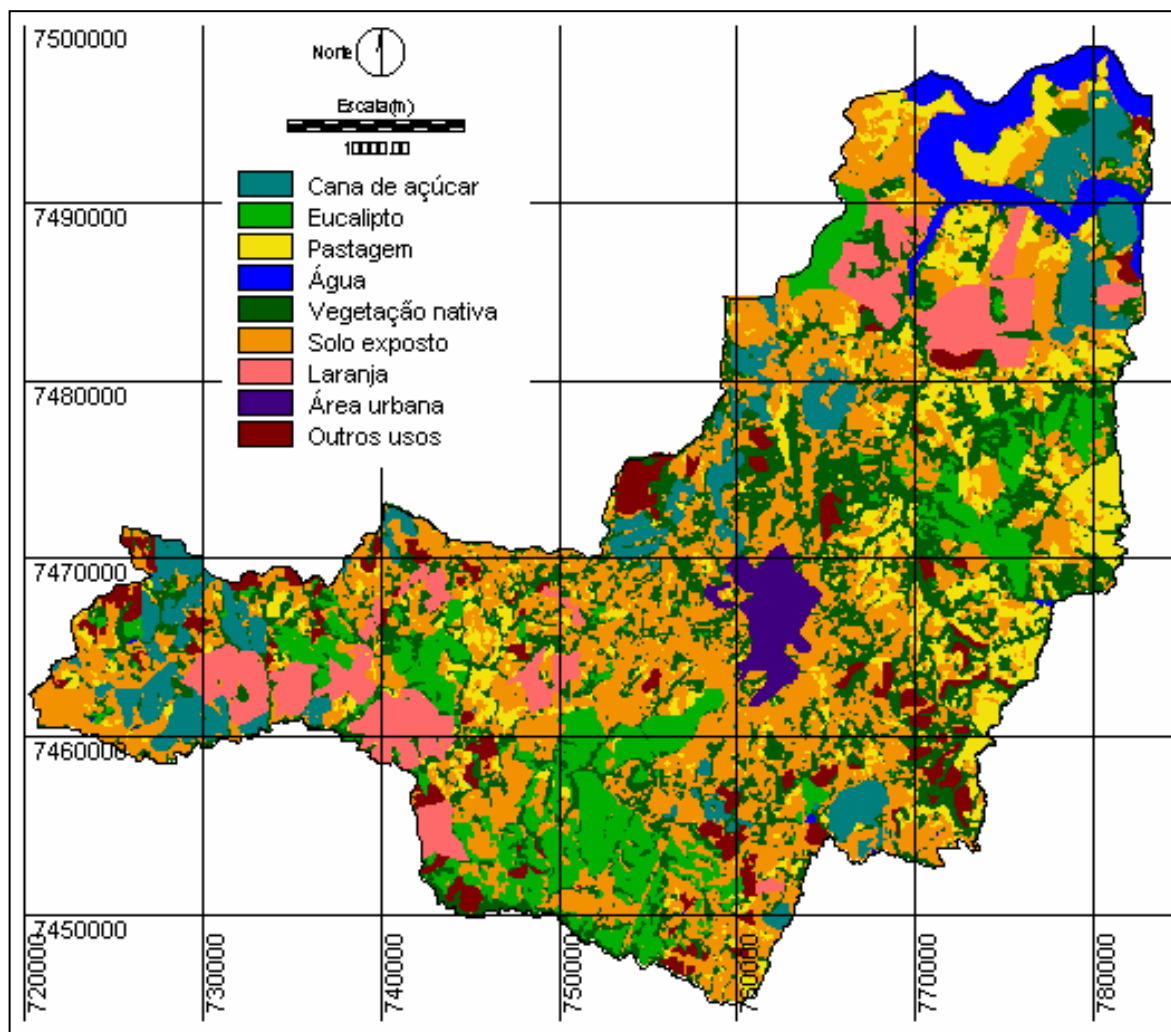


Figura 12 – Distribuição das classes de uso atual da terra no Município de Botucatu - SP.

Quadro 16 – Classe de uso da terra, área ocupada e percentual de cobertura do Município de Botucatu – SP.

Classe de uso da terra	Área total (km <sup>2</sup> )	Porcentagem da área total (%)
1 - Cana de açúcar	116,50	7,95
2 - Eucalipto	151,84	10,36
3 - Pastagem	155,85	10,63
4 - Água	52,29	3,57
5 - Vegetação nativa	316,20	21,57
6 - Solo exposto	472,54	32,24
7 - Laranja	105,07	7,17
8 - Área urbana	26,49	1,81
9 - Outros usos	68,87	4,70

Conforme pode-se observar na Figura 12, as áreas ocupadas com solo exposto na época da obtenção da imagem de satélite que gerou este mapa correspondem a 32,24%. Isto se deve ao fato desta imagem ser do mês de setembro, quando em algumas áreas está sendo feito o preparo da terra para o plantio de algumas culturas no Município como o milho e a cana de açúcar. Em alguns locais esta cana está em fase jovem, quando pode apresentar resposta espectral semelhante a do solo. Além disso, esta época é o final do inverno, estação que é bastante seca na região, fato este que contribui para o ressecamento da terra e das plantas, sobretudo das gramíneas. Neste caso, estas plantas apresentam uma resposta espectral diminuída, onde o solo acaba sendo refletido com maior intensidade. Deve-se portanto, levar em consideração que algumas das áreas consideradas solo exposto, na verdade são ocupadas por pastagens.

Além disso, em Botucatu estão localizados grandes povoamentos de Eucaliptos que são cortados periodicamente e onde esta cultura foi retirada fornece respostas espectrais semelhantes ao solo exposto. Na época de obtenção da imagem haviam também, muitas áreas onde estavam sendo plantadas laranjeiras, o que pode ter contribuído para aumentar as áreas de solo exposto.

Após a classificação do uso da terra efetuou-se a avaliação da exatidão da classificação pelo índice Kappa (Quadro 17).

Quadro 17 – Resultados obtidos pelo índice Kappa para avaliação da exatidão da classificação do uso da terra no Município de Botucatu - SP.

Uso classificado	Verdade terrestre									Erro de inclusão
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0,1230
2	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0,0000
3	0	0	8	0	2	3	0	0	0	0,3846
4	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0,0000
5	2	0	0	0	22	6	0	0	2	0,2143
6	0	1	2	0	2	31	0	2	1	0,2250
7	0	0	0	0	1	0	8	0	0	0,1111
8	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0,0000
9	1	0	1	0	1	1	0	0	3	0,5714
Erro de omissão	0.3000	0.1667	0.2727	0.0000	0.2143	0.1622	0.0000	0.5000	0.5000	1.0000

A interpretação dos resultados do índice Kappa mostra que as classes de uso 2 (eucalipto), 4 (água), e 8 (área urbana) tiveram todos os seus *pixels* amostrados dentro da própria classe no mapa de verdade terrestre para o erro de inclusão, ou seja, não apresentaram erros de classificação para os *pixels* avaliados.

A classe 3 (pastagem) apresentou erro maior devido ao fato desta cobertura ter diversas interações com o solo, apresentar diferentes porcentagens de cobertura e, inclusive diferentes alturas dos capins. Alguns *pixels* desta categoria foram classificados na classe vegetação nativa e outros na classe solo exposto. Isto se deve ao fato desta categoria ocorrer associada com vegetação arbórea em muitos locais e também ao fato de em regiões de solo menos fértil, haver uma grande interação de sua resposta com o solo.

A classe 9 (outros usos) apresentou o erro mais alto. Isto já era esperado, visto que nesta classe foram colocados aqueles *pixels* que não se encaixavam em nenhuma das classes anteriores.

O índice kappa obtido foi de 0,71, avaliando-se a qualidade da classificação como muito boa, conforme a tabela proposta por Landis & Koch (1977).

## **4.7 AVALIAÇÃO DO USO DA TERRA EM CADA CLASSE DE CAPACIDADE DE USO**

A avaliação do uso atual da terra em cada classe de capacidade de uso foi efetuada para verificar onde o solo está sendo usado de acordo com sua capacidade e onde ocorrem áreas de conflito. Esta verificação foi feita através de processo de reclassificação onde cada classe de capacidade foi isolada das demais recebendo identificador de valor igual a 1. Neste caso, ao cruzar o mapa contendo a classe de capacidade de uso com o mapa contendo o uso atual da terra, pode-se verificar qual a distribuição e qual a área de cada uso da terra em cada classe de capacidade de uso.

Baseado nas classes de capacidade de uso da terra levantadas, pode-se afirmar que não existem áreas no Município de Botucatu que estejam sendo subutilizadas, visto que todas as terras foram classificadas na classe III ou superiores, classes estas que necessitam de cuidados especiais para serem cultivadas.

### **4.7.1 Uso da terra na classe IIIs**

Na Figura 13 é apresentada a distribuição dos usos da terra na classe de capacidade IIIs e no Quadro 18 são apresentadas as áreas de cada uso da terra nesta classe e seu percentual. Esta classe é composta, de acordo com definição apresentada por Lepsch et al. (1991), por terras cultiváveis com problemas complexos de conservação e/ou de manutenção de melhoramentos. São terras praticamente planas ou suavemente onduladas com fertilidade natural muito baixa.

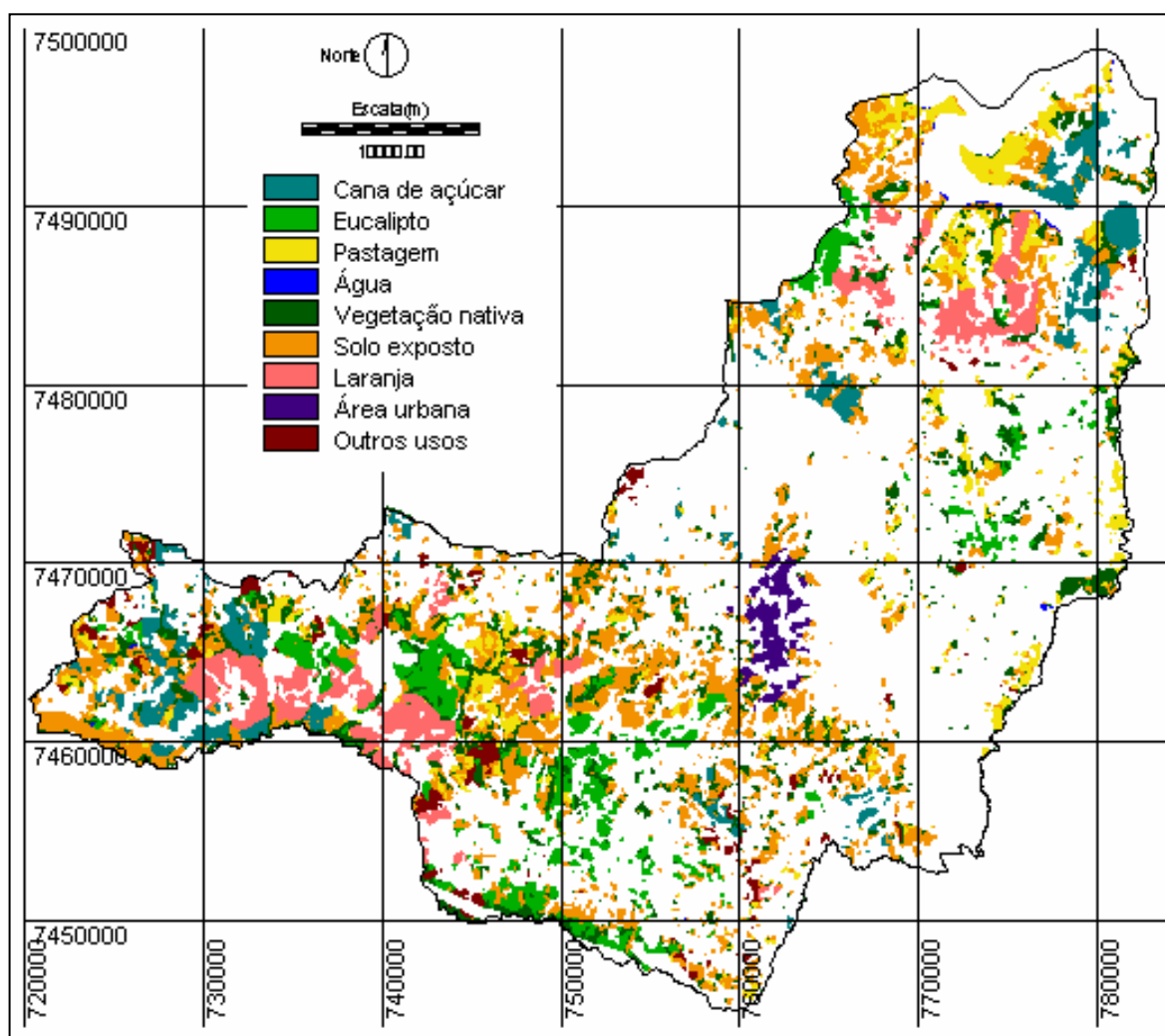


Figura 13 – Distribuição espacial das classes de uso da terra em relação a classe de capacidade III.

Quadro 18 – Classe de uso da terra, área ocupada e percentual de cobertura sobre a classe de capacidade III.

Classe de uso da terra	Área total (km <sup>2</sup> )	Porcentagem da área total da classe de capacidade de uso(%)
Cana de açúcar	53,93	10,06
Eucalipto	64,08	11,96
Pastagem	60,77	11,34
Água	0,94	0,18
Vegetação nativa	90,00	16,79
Solo exposto	172,97	32,26
Laranja	60,38	11,27
Área urbana	12,38	2,31
Outros usos	20,51	3,83



Como podemos observar no quadro 18, as áreas com solo exposto predominam nesta classe de capacidade com 32,26%. Isto se deve provavelmente ao fato de que sendo estas áreas relativamente planas, elas são ocupadas principalmente para o cultivo de culturas anuais. Outro uso da terra que tem área destacada nesta classe de capacidade é vegetação nativa, com 16,79% do total.

Esta classe por ter o maior problema relativo à fertilidade do solo, não apresenta maiores restrições quanto à ocupação por culturas agrícolas. Desta forma, não foram identificadas áreas de conflitos, embora sua utilização produtiva exija um maior volume de investimentos para melhoria de sua produtividade.

#### **4.7.2 Uso da terra na classe III<sub>s,e</sub>**

Nesta classe, conforme definição apresentada por Lepsch et al. (1991), estão localizadas as terras cultiváveis com problemas complexos de conservação e/ou de manutenção de melhoramentos. Neste caso, a subclasse é definida pela limitação na fertilidade do solo e pelo relevo suavemente ondulado a ondulado, com deflúvio rápido, que apresenta riscos severos à erosão quando o solo está descoberto de vegetação, podendo apresentar erosão laminar moderada e/ou sulcos superficiais e rasos frequentes.

Na Figura 14 é apresentada a distribuição dos usos da terra na classe de capacidade III<sub>s,e</sub>.

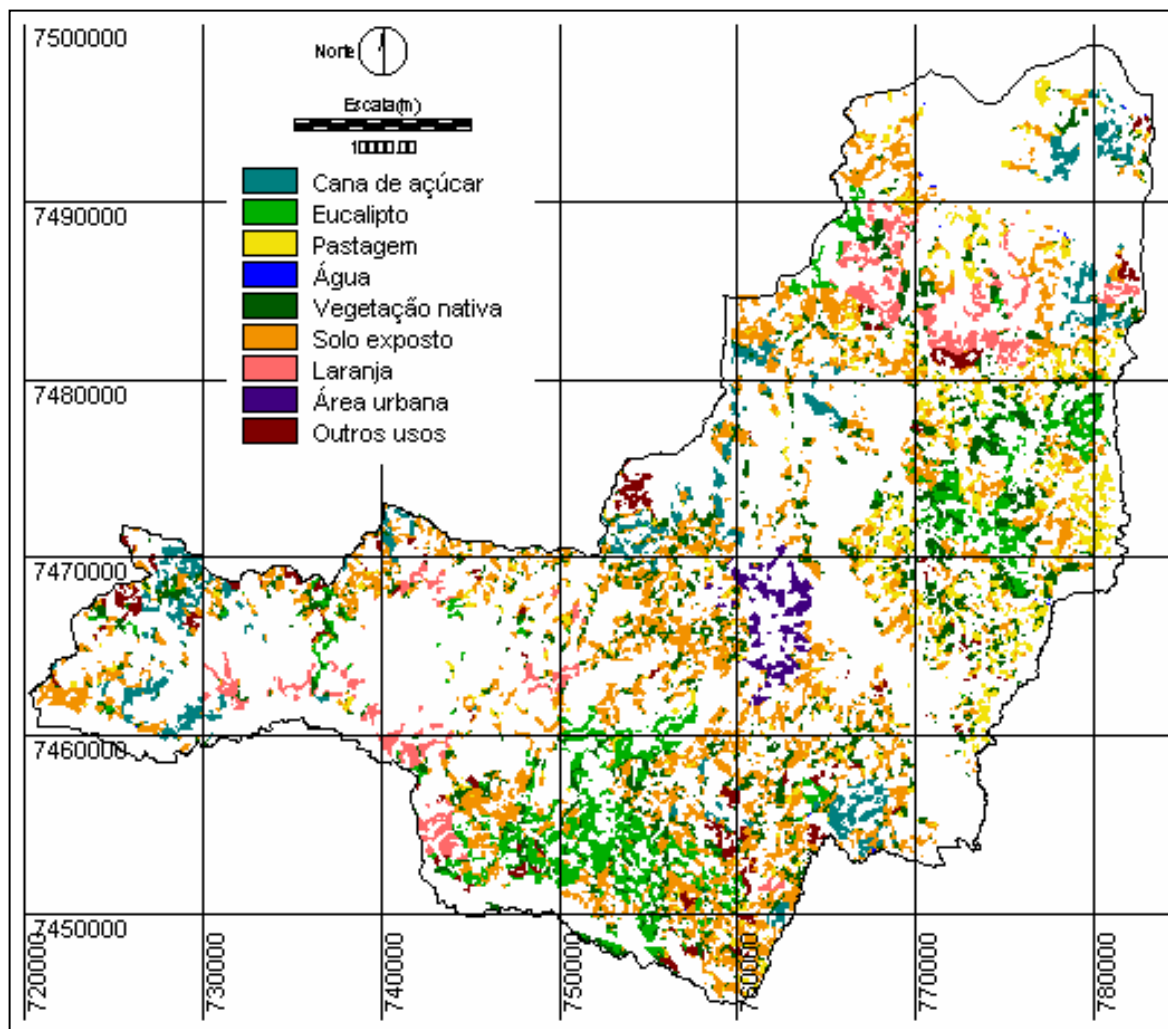


Figura 14 – Distribuição espacial das classes de uso da terra em relação a classe de capacidade IIIs,e.

Nesta classe de capacidade, encontram-se os primeiros locais que caracterizam conflitos de usos da terra. Por ser esta uma classe que apresenta declives mais acentuados, é recomendado que a mesma não fique desprotegida por vegetação. Mesmo assim verificou-se que 36,45% da área total da classe de capacidade estava no momento da obtenção da imagem desprovida de cobertura do solo.

No Quadro 19 são apresentadas as áreas de cada uso e o seu percentual de cobertura na classe IIIs,e.

Quadro 19 – Classe de uso da terra, área ocupada e percentual de cobertura sobre a classe de capacidade IIIs,e.

Classe de uso da terra	Área total (km <sup>2</sup> )	Porcentagem da área total da classe de capacidade de uso(%)
Cana de açúcar	39,89	8,03
Eucalipto	64,25	12,94
Pastagem	51,90	10,45
Água	0,32	0,06
Vegetação nativa	94,31	18,99
Solo exposto	181,07	36,45
Laranja	33,26	6,70
Área urbana	10,18	2,05
Outros usos	21,53	4,33

Conforme já discutido anteriormente, pode ter ocorrido algum tipo de cobertura em locais classificados como tendo solo exposto. Mesmo assim, pelo fato desta cobertura não cobrir totalmente o solo, pode não ser eficaz na sua proteção. Outro fator que deve ser levado em consideração é a adoção de medidas de proteção deste solo enquanto o mesmo está descoberto. Se nas áreas de maior declive houverem curvas de nível ou terraços, o risco de erosão pode ser extinto ou bastante diminuído. Este fator também pode ser levado em consideração para as demais classes de ocupação da terra. Outro uso que chama bastante a atenção nesta classe de capacidade de uso é a vegetação nativa que cobre 18,99% da área total da classe. Isto pode ser explicado pelas matas de galeria que localizam-se próximas aos rios, em declives geralmente intermediários.

#### 4.7.3 Uso da terra na classe IVs

Nesta classe, de acordo com definição apresentada por Lepsch et al. (1991), estão localizados os solos limitados pela profundidade efetiva rasa e apresentando pedregosidade. Estas características causam problemas a motomecanização. Estes solos

podem apresentar ainda problemas de baixa capacidade de retenção de água e problemas de fertilidade.

A vegetação nativa cobre um grande percentual desta classe de capacidade de uso com 43,83% (Quadro 20 e Figura 15). Isto se deve ao fato de que estes solos são rasos, podem apresentar dificuldade de retenção de água e problemas de fertilidade, o que certamente afasta os produtores visto que existem grandes dificuldades para produzir nestas áreas. Por outro lado, as áreas de solo exposto correspondem a 34,37%, desta classe, o que indica que mesmo tendo áreas difíceis de serem manejadas, estes locais são utilizados para alguma atividade de produção.

Quadro 20 - Classe de uso da terra, área ocupada e percentual de cobertura sobre a classe de capacidade IVs.

Classe de uso da terra	Área total (km <sup>2</sup> )	Porcentagem da área total da classe de capacidade de uso(%)
Cana de açúcar	2,16	3,30
Eucalipto	1,48	2,26
Pastagem	4,68	7,15
Água	0,00	0,00
Vegetação nativa	28,67	43,83
Solo exposto	22,48	34,37
Laranja	0,58	0,89
Área urbana	0,88	1,35
Outros usos	4,48	6,85

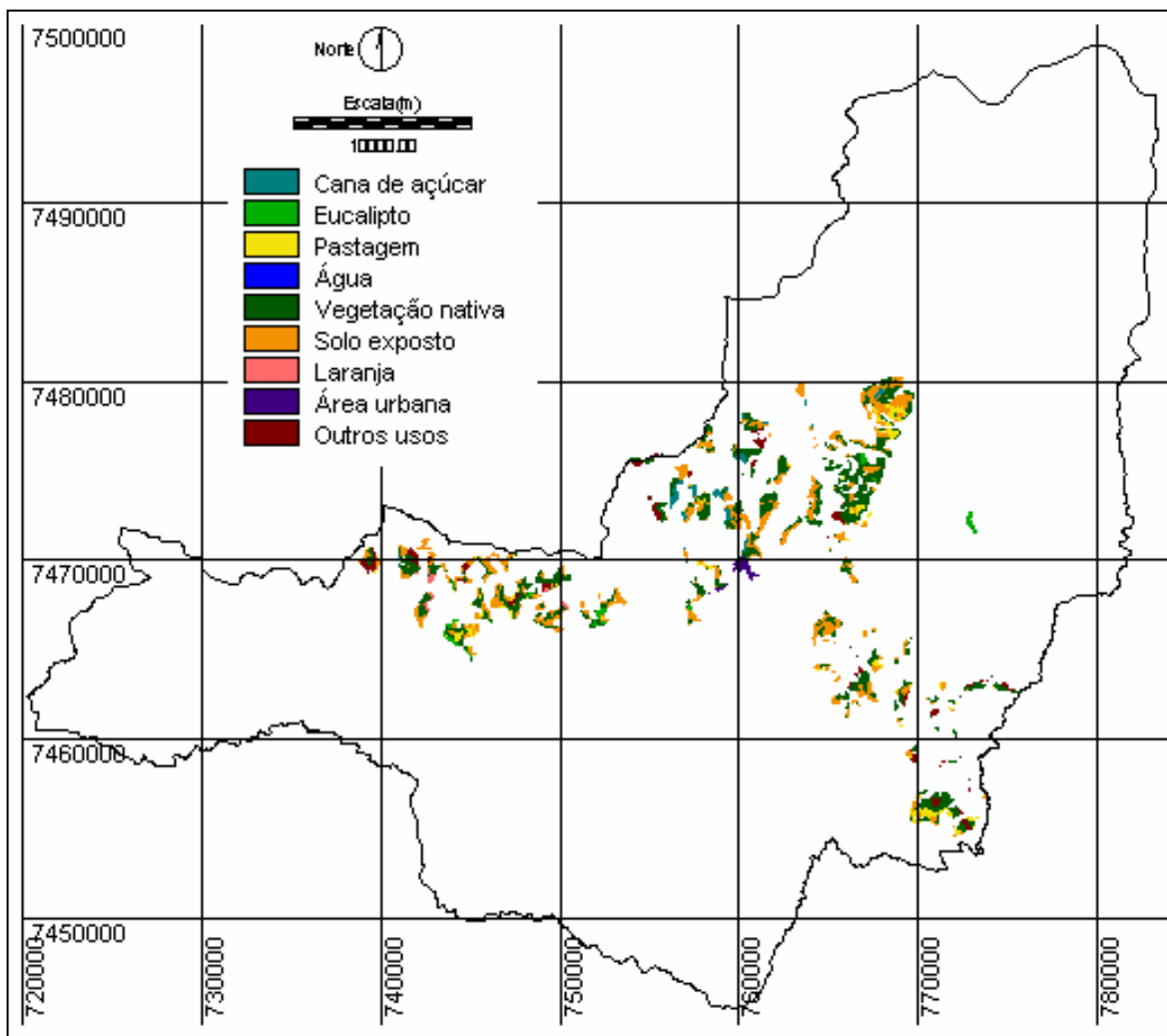


Figura 15 – Distribuição espacial das classes de uso da terra em relação a classe de capacidade IVs.

#### 4.7.4 Uso da terra na classe IVs,e

Nesta categoria, de acordo com definição apresentada por Lepsch et al. (1991), estão os solos limitados pela profundidade efetiva rasa, apresentando pedregosidade e que também podem apresentar problemas de baixa capacidade de retenção de água. Além disso, são terras severamente limitadas por risco de erosão para cultivos intensivos, pois

apresentam declividades acentuadas, apresentam deflúvio muito rápido e podem apresentar erosão em sulcos rasos superficiais frequentemente (Figura 16 e Quadro 21).

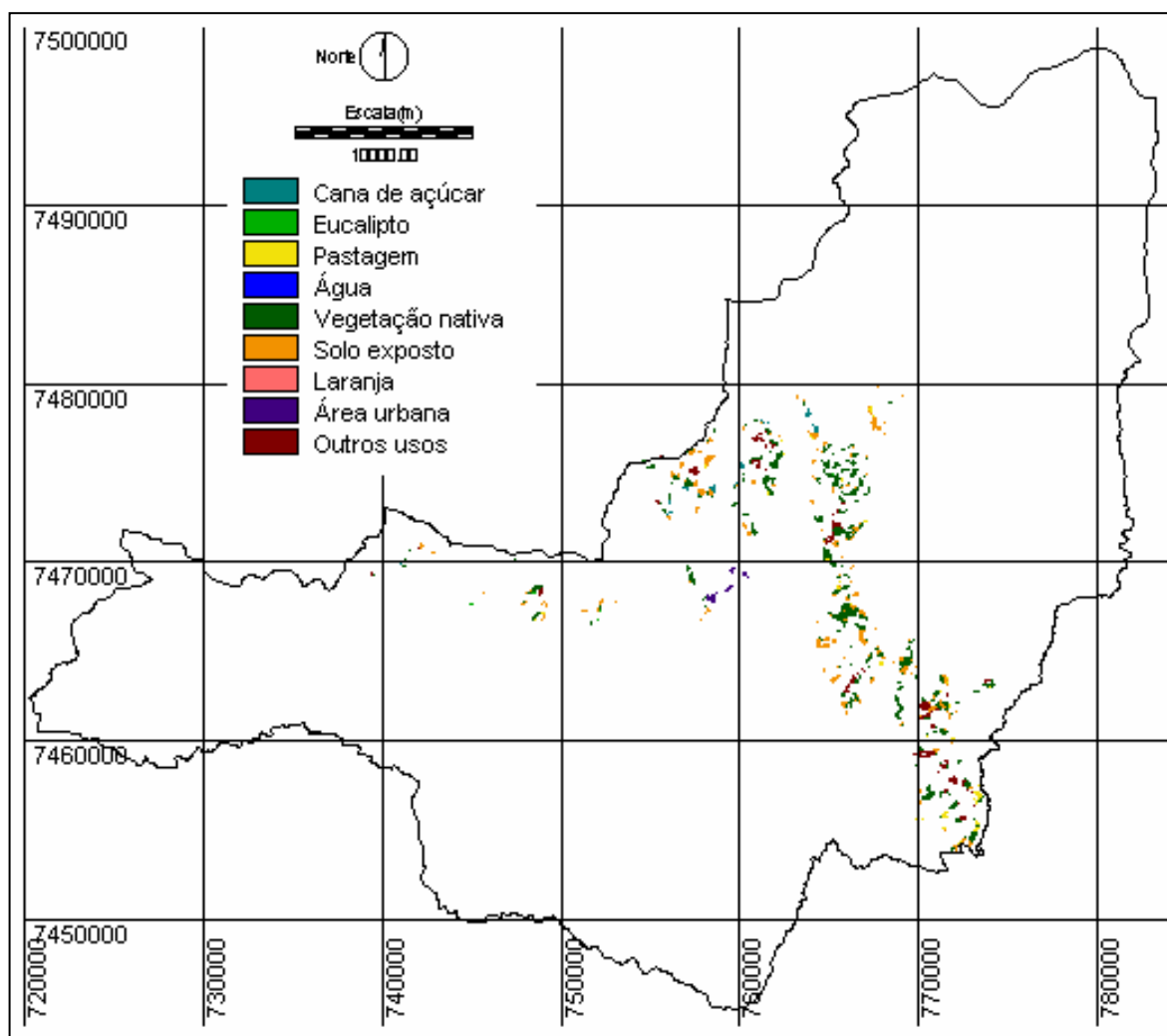


Figura 16 – Distribuição espacial das classes de uso da terra em relação a classe de capacidade IVs,e.

Quadro 21 - Classe de uso da terra, área ocupada e percentual de cobertura sobre a classe de capacidade IVs,e.

Classe de uso da terra	Área total (km <sup>2</sup> )	Porcentagem da área total da classe de capacidade de uso(%)
Cana de açúcar	0,70	3,06
Eucalipto	0,16	0,70
Pastagem	1,20	5,24
Água	0,00	0,00
Vegetação nativa	11,12	48,60
Solo exposto	6,18	27,02
Laranja	0,01	0,04
Área urbana	0,40	1,75
Outros usos	3,11	13,59

Podemos verificar que nesta classe de capacidade de uso da terra temos uma situação parecida com a da classe anterior, ou seja, temos a vegetação nativa cobrindo a maior parte da área, o que pode ser considerado bom pelo fato destas terras não serem indicadas para agricultura. Por outro lado, tem-se também aqui, um percentual significativo da área ocupada por solo exposto, ou seja descoberto. Como nesta classe de capacidade estão incluídas aquelas terras com risco de erosão alto, estes são locais onde deve haver um grande cuidado com a cobertura do solo e com as técnicas de proteção da terra contra erosão.

#### 4.7.5 Uso da terra na classe IVe

Nesta categoria, de acordo com definição apresentada por Lepsch et al. (1991), estão as terras severamente limitadas por risco de erosão para cultivos intensivos, geralmente com declividades acentuadas, com deflúvio muito rápido, podendo apresentar

erosão em sulcos superficiais muito frequentes, em sulcos rasos frequentes ou em sulcos profundos ocasionais.

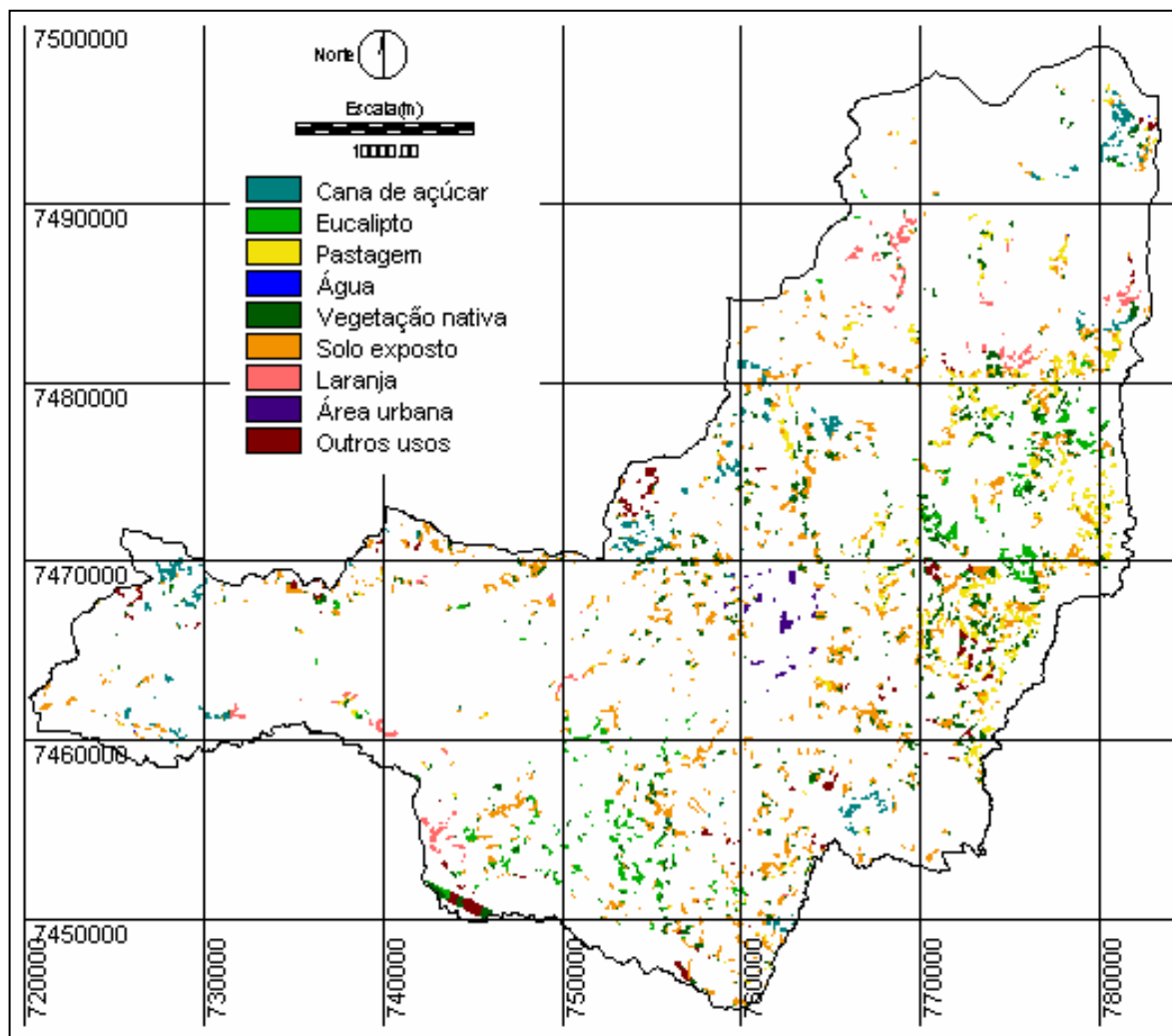


Figura 17 – Distribuição espacial das classes de uso da terra em relação a classe de capacidade IVe.

As pastagens com 14,18%, a vegetação nativa com 21,60% e o solo exposto com 34,24% cobrem a maior parte dos solos desta classe de capacidade de uso (Figura 17 e Quadro 22). A vegetação nativa não deve apresentar problemas de erosão, porém nas áreas com pastagens é necessário tomar cuidados especiais para evitar o surgimento de erosões



e nas áreas com solo exposto, o risco da ocorrência de erosão é muito grande. Portanto, o ideal é que estas terras nunca fiquem desprovidas de cobertura, mas como isto nem sempre é possível, é necessário então que os proprietários tomem cuidados especiais para evitarem o surgimento de erosões, o que poderá acarretar na perda da capacidade produtiva destes locais em um espaço de tempo muito curto, sem contar com o assoreamento dos rios e nascentes.

Quadro 22 - Classe de uso da terra, área ocupada e percentual de cobertura sobre a classe de capacidade IVe.

Classe de uso da terra	Área total (km <sup>2</sup> )	Porcentagem da área total da classe de capacidade de uso(%)
Cana de açúcar	12,19	8,57
Eucalipto	14,14	9,94
Pastagem	20,18	14,18
Água	0,09	0,06
Vegetação nativa	30,74	21,60
Solo exposto	48,73	34,24
Laranja	6,32	4,44
Área urbana	1,86	1,31
Outros usos	8,05	5,66

#### 4.7.6 Uso da terra na classe Va

Nesta categoria, de acordo com definição apresentada por Lepsch et al. (1991), estão as terras planas não sujeitas à erosão, com deflúvio praticamente nulo, severamente limitadas por excesso de água, sem possibilidade de drenagem artificial e/ou com risco de inundação frequente, mas que podem ser usadas para pastoreio, pelo menos em algumas épocas do ano.

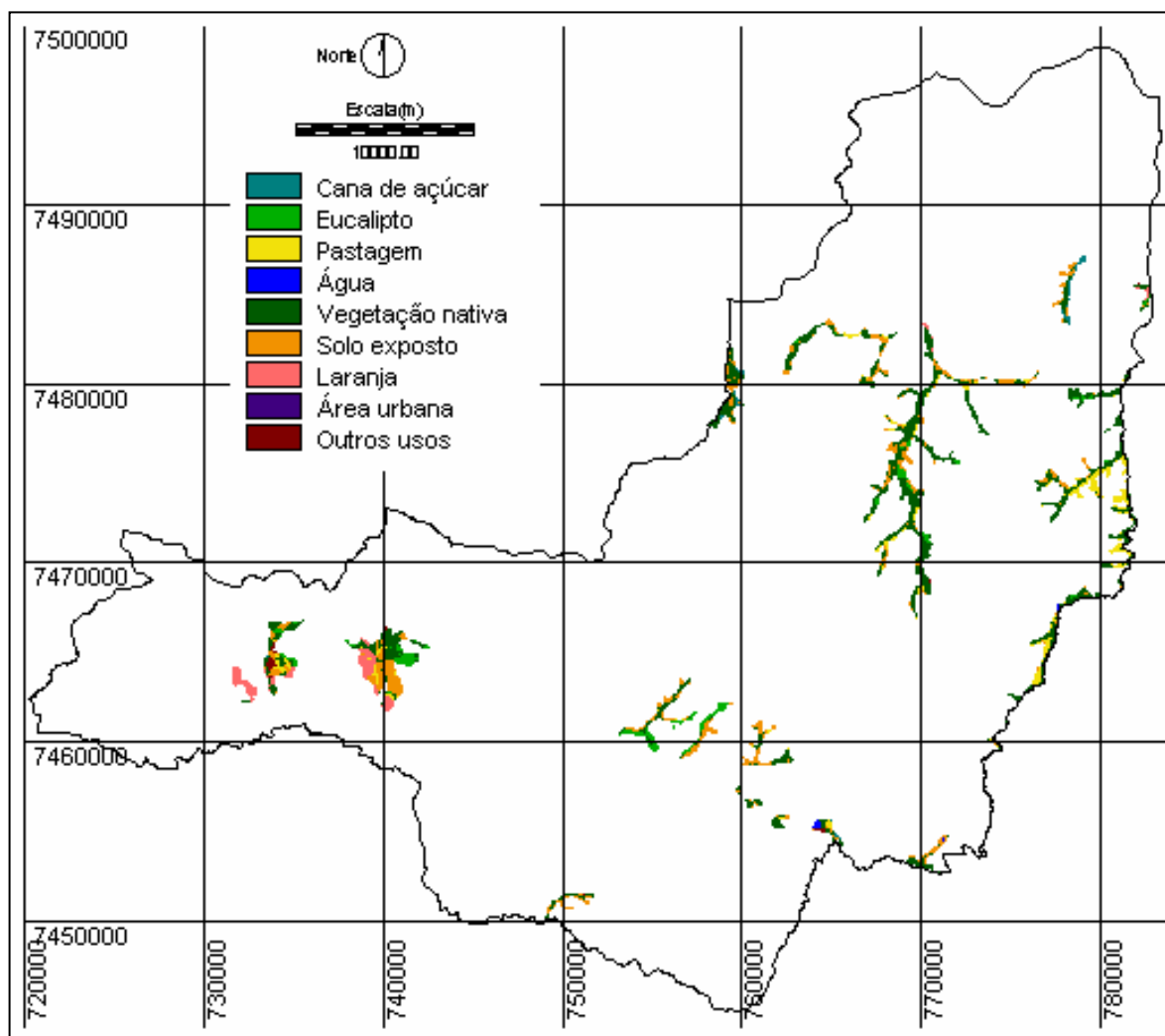


Figura 18 – Distribuição espacial das classes de uso da terra em relação a classe de capacidade Va.

Quadro 23 - Classe de uso da terra, área ocupada e percentual de cobertura sobre a classe de capacidade Va.

Classe de uso da terra	Área total (km <sup>2</sup> )	Porcentagem da área total da classe de capacidade de uso(%)
Cana de açúcar	0,93	1,57
Eucalipto	4,23	7,13
Pastagem	6,71	11,31
Água	0,30	0,51
Vegetação nativa	30,08	50,68
Solo exposto	13,14	22,14
Laranja	3,28	5,53
Área urbana	0,00	0,00
Outros usos	0,67	1,13

Nesta classe de capacidade, as áreas ocupadas por pastagem com 11,31% e as áreas ocupadas por vegetação nativa com 50,68% estão de acordo com as recomendações de Lepsch et al. (1991). Ocorre nesta classe também 22,14% da área total, coberta por solo exposto (Figura 18 e Quadro 23). Neste caso, a maior limitação se deve ao fato destas terras poderem ser inundadas periodicamente, o que causa prejuízos para o agricultor. Também existe o problema de com estas inundações serem carregados para os rios fertilizantes e defensivos agrícolas que acabarão poluindo os mananciais de águas.

#### 4.7.7 Uso da terra na classe VIe

Nesta categoria, de acordo com definição apresentada por Lepsch et al. (1991), estão as terras que, sob pastagem, ou eventualmente, com culturas permanentes protetoras do solo, são medianamente suscetíveis à erosão. Apresentam relevo forte ondulado e declividades acentuadas, propiciando deflúvio moderado a severo, dificuldades severas à

motomecanização, pelas condições topográficas, com risco de erosão que pode chegar a muito severo, presença de erosão em sulcos rasos muito frequentes ou sulcos profundos frequentes.

Neste caso, as únicas culturas permitidas são as permanentes protetoras do solo, não podendo estas áreas serem ocupadas por culturas anuais. No entanto, o Quadro 24 e a Figura 19 mostram que temos 7,32% da área da classe ocupada por cana de açúcar, 28,74% por solo exposto e 12,74% por outros usos. Desta forma, podemos concluir que pelo menos 48,80% da área total da classe de capacidade, ou seja, 36,88 km<sup>2</sup> estão sendo utilizados de maneira inadequada.

Quadro 24 - Classe de uso da terra, área ocupada e percentual de cobertura sobre a classe de capacidade VIe.

Classe de uso da terra	Área total (km <sup>2</sup> )	Porcentagem da área total da classe de capacidade de uso(%)
Cana de açúcar	5,53	7,32
Eucalipto	3,07	4,06
Pastagem	8,26	10,93
Água	0,02	0,03
Vegetação nativa	25,47	33,70
Solo exposto	21,72	28,74
Laranja	1,10	1,46
Área urbana	0,77	1,02
Outros usos	9,63	12,74

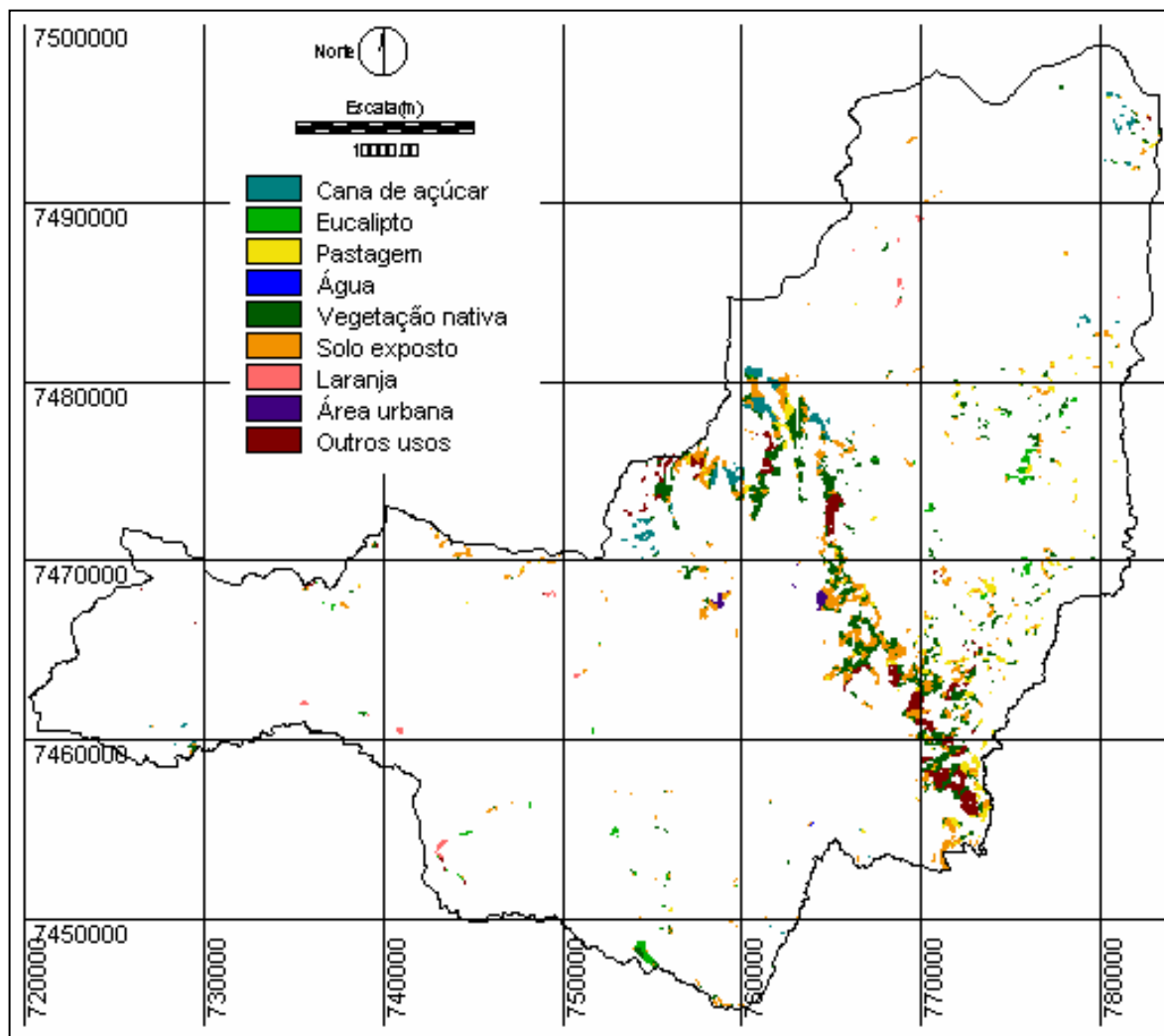


Figura 19 – Distribuição espacial das classes de uso da terra em relação a classe de capacidade VIe.

#### 4.7.8 Uso da terra na classe VIIe

Nesta categoria, de acordo com definição apresentada por Lepsch et al. (1991), estão as terras com limitações severas para outras utilizações que não florestas, com risco de erosão muito severo, apresentando declividades muito acentuadas (mais de 40%)

propiciando deflúvios muito rápidos ou impedindo a motomecanização. Pode apresentar ainda, a presença de erosão em sulcos muito profundos, muito frequentes.

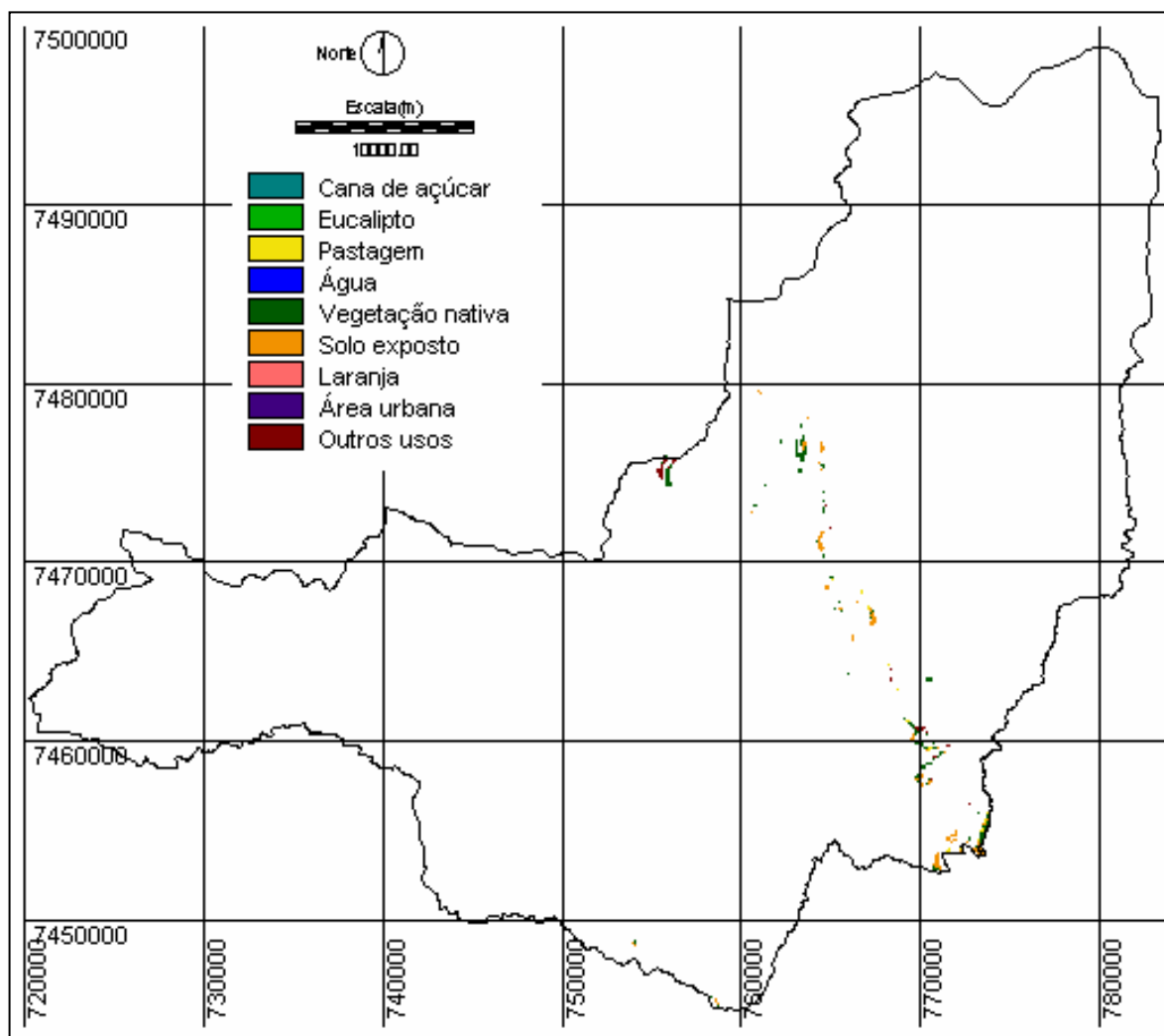


Figura 20 – Distribuição espacial das classes de uso da terra em relação a classe de capacidade VIIe.

Quadro 25 - Classe de uso da terra, área ocupada e percentual de cobertura sobre a classe de capacidade VIIe.

Classe de uso da terra	Área total (km <sup>2</sup> )	Porcentagem da área total da classe de capacidade de uso(%)
Cana de açúcar	0,02	0,34
Eucalipto	0,03	0,52
Pastagem	0,37	6,38
Água	0,00	0,00
Vegetação nativa	2,66	45,86
Solo exposto	1,90	32,76
Laranja	0,00	0,00
Área urbana	0,01	0,17
Outros usos	0,81	13,97

De acordo com a Figura 20 e o Quadro 25 verificamos que cerca da metade da área desta classe de capacidade de uso apresenta conflito. O maior problema, novamente é relativo ao solo desprotegido, pois o risco de erosão é enorme, fazendo com que o agricultor mesmo tomando cuidados de preservação terá prejuízos na qualidade de sua terra num curto espaço de tempo. Nesta classe a área conflitante total é de 3,11 km<sup>2</sup>.

#### 4.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Conforme pode ser observado pelos resultados obtidos nas análises efetuadas para este trabalho, as terras do município de Botucatu em sua maior parte são utilizadas de maneira não conflitante. A maior limitação para o uso agrícola das terras da classe III (que cobre a maior parte do Município) é a baixa fertilidade que é um problema relativamente fácil de ser resolvido, bastando a aplicação dos insumos necessários, embora isso encareça a produção. No entanto, em diversos locais, principalmente nas regiões de Cuesta e nas margens dos rios, existem plantações anuais onde deveria haver culturas perenes ou vegetação nativa. Nestas áreas, pode ser feito um trabalho de avaliação regional mais

aprofundado para determinação dos danos ocorrentes, buscando a indicação de culturas protetoras do solo, com o objetivo de protegê-lo e mantê-lo em condições produtivas para as futuras gerações.

Na realização deste trabalho verificou-se que a integração das ferramentas de geoprocessamento possibilitou todas as análises necessárias para se alcançar os objetivos propostos. Dentre o conjunto de ferramentas utilizado, o aparelho de GPS mostrou grande utilidade prática, pois permitiu a localização das coordenadas de pontos, em locais onde não existiam informações nas cartas topográficas, ou em locais onde houveram alterações na disposição dos elementos indicados nas cartas (estradas, vias férreas, açudes, rios, etc.). Este aparelho foi fundamental na coleta de amostras de solos nas regiões cobertas por plantações de eucaliptos, pois nestes locais a visibilidade de pontos de referência é impossibilitada pelo tamanho das árvores, e não existem indicações de estradas nas cartas topográficas, visto que na época da elaboração das mesmas, esta cultura não tinha a disseminação que tem hoje sobre o município. Mesmo com as copas das árvores altas, o aparelho sempre funcionou sem maiores problemas.

A utilização de aerofotogramas para o levantamento preliminar dos solos do município permitiu economia de tempo e de recursos nas análises de solos, visto que esta fotointerpretação gerou um mapa preliminar que orientou a localização dos pontos de coleta de solo necessários para a confirmação de cada classe, reduzindo desta forma, o número de amostras no campo, o tempo e os custos de análise.

A digitalização via scanner do mapa com as classes de solo levantadas na fotointerpretação, acelerou o processo de elaboração do mapa final, pois as correções necessárias foram feitas sobre a imagem digital, que possibilitou as diferentes alterações e o



armazenamento em diversos formatos que puderam ser visualizados e trabalhados em todos os aplicativos usados no trabalho.

A digitalização via scanner das cartas topográficas, possibilitou o processo de digitalização das curvas de nível via tela do monitor, o que permitiu a obtenção de aproximações da imagem (zoom) e melhor definição do local de passagem do digitalizador sobre a curva de nível. Além disso, este processo dispensa o uso de mesa digitalizadora, que geralmente tem um valor de aquisição elevado e não oferece opções de ampliação dos objetos a serem digitalizados.

A imagem do sensor *Thematic Mapper* do satélite Landsat 5, forneceu as informações necessárias sobre o uso da terra do Município de maneira sinóptica, barata e relativamente atual. Seu uso permitiu a pré identificação da ocupação da terra, e a mesma apresentou grande utilidade quando da coleta de amostras de solo, pois sendo de 1999 continha todos os elementos da paisagem necessários para a identificação das rotas e para a localização dos pontos de coleta.

## 5. CONCLUSÕES

Após a realização das diferentes análises necessárias para a elaboração deste trabalho, conclui-se que:

- A integração das ferramentas do geoprocessamento possibilitou agilidade na coleta de dados, na manipulação e nas diferentes análises necessárias;
- O Sistema de Informações Geográficas Idrisi em suas versões 2.1 e 32 foi ferramenta imprescindível para digitalização de dados, interpolações, álgebra entre mapas, armazenamento e geração dos mapas finais;
- A metodologia utilizada para o levantamento das classes de capacidade de uso da terra e para a avaliação da adequação dos usos, foi eficiente para os objetivos propostos, reduzindo tempo e recursos financeiros.
- A classe de capacidade III, dividida nas subclasses IIIs e IIIs,e ocupa mais de 70% da área total do Município;

- A maior parte das áreas do município de Botucatu são utilizadas de maneira não conflitante, embora pelas características dos solos observadas, necessitem de cuidados especiais para serem usadas na produção agrícola;
- Existem locais nas regiões da Cuesta e próximo aos rios onde não existe cobertura perene. Nestas áreas há a necessidade de revegetação visando a recuperação do ambiente e o cumprimento da legislação vigente que exige sua cobertura com vegetação perene.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB´SABER, A.N. Bases conceituais e papel do conhecimento na previsão de impactos. In:

MÜLLER-PLANTENBERG, C. & Ab´SABER, A.N. (Orgs. ) *Previsão de impactos: O estudo de impacto ambiental no Leste, Oeste e Sul. Experiências no Brasil, na Rússia e na Alemanha*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1994. Cap. 1, p. 27-49.

ALMEIDA, F. F. M. Perfil geológico do Estado. In: IGC, *Geologia do Estado de São Paulo*.

Bol. n. 41, p. 254-262, 1964.

ALVES, D.S., PEREIRA, J.L.G., SOUZA, C.L.de., SOARES, J.V., MOREIRA, J.C., ORTIZ,

J.º, SHIMABUKURO, Y.E., YAMAGUCHI, F. Análise comparativa de técnicas de classificação de imagens do sensor Landsat/TM para caracterização de áreas desflorestadas.

In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9, 1998, Santos. *Anais em CD-ROM...* Santos: INPE – SELPER, 1998.

ANTUNES, A.F.B. *Uso do processamento digital de imagens na segmentação de tipologias*

*vegetais na APA de Guaraqueçaba-PR*. Curitiba, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná.

- ASSAD, M.L.L., HAMADA, E., CAVALIERI, A. Sistema de informações geográficas na avaliação de terras para agricultura. In: ASSAD, E.D., SANO, E.E. *Sistema de informações geográficas aplicações na agricultura*. 2 ed. Brasília: Embrapa, 1998. p. 191 – 232.
- AYOADE, J.O. *Introdução à climatologia para os trópicos*. São Paulo: DIFEL, 1986. 332p.
- BAIO, F.H.R. *GPS na agricultura*. Texto disponível na Internet:  
<http://www.gpsglobal.com.br/artigos/GPSAgric.html>. 2001.
- BARUQUI, A.M. Conservação do solo. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 7, n. 80, 1981. p. 26-39.
- BERTONI, J. LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. Comissão de Solos. *Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo*, Brasília, Bol. n. 12, 1960.
- BRASIL, *Código Florestal*. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1965.
- BRITES, R. S., SOARES, V. P., COSTA, T. C. C., NETO, A. S. Geoprocessamento e Meio Ambiente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Caldas/MG. Cartografia, Sensoriamento e Geoprocessamento. Poços de Caldas, *Anais...* Poços de Caldas. UFLA/SBEA, 1998. p. 141-163.
- BUCENE, L.C. *Classificação de terras para irrigação utilizando um sistema de informações geográficas em Botucatu – SP*. Botucatu, 2002. 185 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)- Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

- BURROUGH, P.A. *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Oxford: Clarendon Press, 1989. 194p.
- BUZAI, G.D.; DURÁN, D. *Enseñar e investigar com sistemas de información geográfica (S.I.G.)* Buenos Aires: Traquel, 1997. 192p.
- CALDEIRA, H.S. *Classificação temática de áreas litorâneas: uma contribuição metodológica*. São José dos Campos, 1994. 133p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- CALIJURI, M. L., MEIRA, A. D., PRUSKI, F. F. Geoprocessamento aplicado aos recursos hídricos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Caldas/MG. Cartografia, Sensoriamento e Geoprocessamento. Poços de Caldas, *Anais...* Poços de Caldas. UFLA/SBEA, 1998. p. 167-225.
- CALIJURI, M.L., RÖHM, S.A. *Sistemas de Informações Geográficas*. CCET/DEC - Universidade Federal de Viçosa. Imprensa Universitária. Viçosa, M.G.. 1994. 34p.
- CÂMARA, G. MEDEIROS, J.S.de. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E.D., SANO, E.E. *Sistema de informações geográficas aplicações na agricultura*. 2 ed. Brasília: Embrapa, 1998. p. 3 – 11, a.
- CÂMARA, G. MEDEIROS, J.S.de. Mapas e suas representações computacionais. In: ASSAD, E.D., SANO, E.E. *Sistema de informações geográficas aplicações na agricultura*. 2 ed. Brasília: Embrapa, 1998. p. 13 – 29, b.
- CAMPOS, S.P, de. *Planejamento agroambiental de uma microbacia hidrográfica utilizando um Sistema de Informações Geográficas*. Botucatu, 2001, 137 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

- CARLSON, T.N., SANCHEZ-AZOLEIFA, G.A. Satellite remote sensing of land use changes in and around San José, Costa Rica. *Remote sensing of environment*. v. 70, n. 3, p. 247-56, 1999.
- CARRILHO, J.M.Z.F. *Detecção de mudanças da cobertura do terreno em uma região do cerrado*. São José dos Campos, 1996. 110p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- CORSEUIL, C.W. *Uso de modelagem numérica em mapa temático - sítios florestais*. Santa Maria, 1996. 35p. Monografia (Curso de Especialização em Imagens Orbitais e SubOrbitais) – Universidade Federal de Santa Maria.
- COSTA, T. C.C. da., SOUZA, M.G. de.; BRITES, R.S. Delimitação e caracterização de áreas de preservação permanente, por meio de um sistema de informações geográficas (SIG). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996, Salvador. *Anais em CD-ROM...* Santos: INPE – SELPER, 1996.
- CROSTA, A.P. *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. Campinas: IG/UNICAMP. 1992. 170p.
- DAINESE, R. C. *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao estudo temporal do uso da terra e na comparação entre classificação não-supervisionada e análise visual*. Botucatu, 2001. 186p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- DE LIGIER, H.D., PERUCCA, A.R. *Evaluación del estado y uso de los recursos naturales en establecimientos agropecuarios aplicando sistemas de información geográfica (GIS)*. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA, 9, 2000, Puerto Iguazu. *Anais em CD ROM...* São José dos Campos: SELPER, 2000.

- DECIAN, V., MARCHESAN, D., NUNES, G.M., BOLFE, E.L., MADRUGA, P.R.de A., PEREIRA, R.S. Análise dos diferentes classificadores digitais de imagem com o uso do aplicativo Idrisi for Windows 2.0. In: CICLO DE ATUALIZAÇÃO FLORESTAL DO CONE-SUL, 1999, Santa Maria. *Anais...* Santa Maria RS: Universidade Federal de Santa Maria, 1999, p. 18-23.
- DEGANUTTI, R. *Inventário da cobertura vegetal das fazendas Lageado e Edgardia – Botucatu S.P. – no período de 36 anos, com utilização de imagens de sensoriamento remoto*. Botucatu, 2000, 170 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- DEPPE, F. Estimativas de áreas florestais a partir de dados de levantamentos de campo e imagens MSS e TM. *Rev. Árvore*, Viçosa, v. 23, n.1, p. 83-92, 1999.
- EASTMAN, J. R. *Idrisi for Windows - Manual do usuário: introdução e exercícios tutoriais*. Editores da versão em português, Heinrich Hasenack e Eliseu Weber. Porto Alegre, UFRGS Centro de Recursos Idrisi, 1998. 240 p.
- EASTMAN, J. R. IDRISI32. *Guide to GIS and image processing*. Massachusettes, Clark University. V. 2, 1999. 169p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Critérios para distinção de classes de solos e de fases de unidades de mapeamento - normas em uso pelo SNLCS*, Doc. n. 11, Rio de Janeiro, 1988. 65 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Manual de métodos de análise do solo*. Brasília, CNPS, 1996. 212p.



- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, SPI, 1999. 404p.
- FAO. *Agro-ecological zoning guidelines*. Soils Bulletin 73. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 1988.
- FERNANDES, E., FERNANDES FILHO, E.I., SILVA, E. Integração de Sistemas de Informações Geográficas e sistemas especialistas para avaliação da aptidão agrícola das terras em bacias hidrográficas. *Rev. Árvore*, Viçosa, v. 23, n.1, p. 75-82, 1999.
- FILADELFO JÚNIOR, W.S. *Geoprocessamento aplicado ao estudo de ocupação do solo e de classes de declive*. Botucatu, 1999, 112 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.
- FORMAGGIO, A.R., ALVES, D.S., EPIPHANIO, J.C.N. Sistemas de informações geográficas na obtenção de mapas de aptidão agrícola e de taxa de adequação de uso das terras. *Rev. Bras. Ciên. Solo*, v. 16, 249-56, 1992.
- FRANÇA, G.V. A classificação de terras de acordo com sua capacidade de uso com base para um programa de conservação do solo. In: CONGRESSO NACIONAL DA CONSERVAÇÃO DO SOLO, 1., 1963, Campinas. *Anais...* Campinas, Secretaria da Agricultura, DEMA, 1963. p. 399-408.
- FUCHS, R. B. H. *Avaliação do uso da terra, por classe de declividade, na sub-bacia hidrográfica do Vacacaí-Mirim - RS*. Santa Maria, 1986, 65p. Monografia (Curso de Especialização em Imagens Orbitais e SubOrbitais) – Universidade Federal de Santa Maria.
- FUKS, S.D. Novos modelos para mapas derivados de informações de solos. In: ASSAD, E.D., SANO, E.E. *Sistema de informações geográficas aplicações na agricultura*. 2 ed. Brasília: Embrapa, 1998. p. 373 – 410.

- GABRIEL, J. L. C. *Composição florística e estrutura fitossociológica do estrato arbóreo de mata mesófila semidecídua de encosta, no município de Botucatu, SP*. Rio Claro, 1990. 198p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.
- GIOTTO, E. *Levantamento do uso atual da terra com imagem RBV do landsat-3 no município de Tapera – RS*. Santa Maria, 1981. 66p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria.
- GORGULHO, M. G.P.S. – *O sistema de posicionamento global*. Texto disponível na Internet: <http://www.geocities.com/baja/canyon/5201/gps/apostila.htm>. 2201.
- HALLUM, C. A change detections strategy for monitoring vegetative and land use over types using remotely sensed, satellite based data. *Remote Sensing of enviroment*. V. 43, n.2, feb.. 1993. p. 171-77.
- HAMADA, E., CAVALIERI, A., ROCHA, J. V., KÜPPER, R. B. Classificação das terras no sistema de capacidade de uso utilizando o SIG-IDRISI. In: SIMPÓSIO DE USUÁRIOS IDRISI, 1, 1998, Campinas. *Resumos...* Campinas: 1996.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA. Secretaria de Economia e Planejamento. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. *Município de Botucatu. Folhas: Pratânia, SF-22-Z-B-V-4; Rio Palmital, SF-22-Z-B-V-3; Botucatu, SF-22-R-IV-3; Itatinga, SF-22-Z-D-II-2; Bofete, SF-22-Z-D-III-1; Barra Bonita, SF-22-Z-B-VI-1 e Santa Maria da Serra, SF-22-Z-B-VI-2*. São Paulo, Escala 1:50.000, 1982.
- IPPOLITI-RAMILO, G.A. *Imagens TM/Landsat – 5 da época de pré-plantio para a previsão da área de culturas de verão*. São José dos Campos, 1999. 183p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. *Mapa geológico do Estado de São Paulo escala 1:500.000*. Volume 1. São Paulo: IPT, 1981. 126p.
- JOHANNSEN, C.J., CARTER, P.G., WILLIS, P.R. et al. Applying remote sensing technology to precision farming. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, 1998, St Paul. *Proceedings...* Madison: American Society of Agronomy, Crop Science of America, Part B, p. 1413-22, 1999.
- KELLER, E.C.S. Projeto do mapeamento da terra. *Aerofotogeografia*, v.3, p. 1-15, 1969.
- KOFFLER, N.F. Uso das terras da bacia do Rio Bauru (SP): situação atual e potencialidade agrícola. *Mimesis*, Bauru, v. 17, n.1, p. 99-125, 1996.
- KUHAR, J.E., DHABALT, L.J., CALLOWAY, C.S. *The precision farming – guide for agriculturists*. Moline: John Deere publishing, 1997. 117p.
- LANDIS, J.R., KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v. 33, n.1, p. 159 – 174, 1977.
- LEGG, B.J., STAFFORD, J.V. Precision agriculture – new technologies. In: BRIGHTON CROP PROTECTION CONFERENCE: PESTS & DISEASES, 1998, Brighton. *Proceedings...* Brighton: British Crop Protection Council, p. 1143-50, 1998.
- LEMOS, R. C., SANTOS, R. D. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. Sociedade Bras. Ciência do Solo. 3<sup>a</sup> ed. Campinas, 84p. 1996.
- LEPSCH, I. F., BELLINAZZI Jr., R., BERTOLINI, D., ESPÍNDOLA, C. R. *Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso*. 4<sup>a</sup> aproximação. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.
- LILLESAND, T.M., KIEFER, R.W. *Remote sensing and image interpretation*. 3d. New York, Wiley, 1994.

- LINGNAU, C. *Zustandserfassung von kiefernplantagen in südbrasilien mit Landsat – 5 TM daten als grundlage für die überwachung und abschätzung künftiger entwicklung von holzwessenschäden*. Freiburg, 1995. Tese (Doutorado) – Albert Ludwigs – Universität.
- LO, C.P., FABER, B.J. Integration of landsat thematic mapper and census data for quality of life assessment. *Remote sensing of enviroment*. v. 62, n. 2, p. 143-57, 1997.
- MACEDO, J. Apresentação. In: ASSAD, E.D., SANO, E.E. *Sistema de informações geográficas aplicações na agricultura*. 2 ed. Brasília: Embrapa, 1998. p. vii.
- MADRUGA, P.R. de A. *Diagnose física do uso da terra em 1966/77 e 1985 na região de programação nº 6 – RS*. Santa Maria, 1985. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria.
- MARTINS, A. K. E.; NETO, A.S., MENEZES, I.C. de. Metodologia para Indicação de Corredores Ecológicos por Meio de um Sistema de Informações Geográficas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9, 1998, Santos. *Anais em CD-ROM...* Santos: INPE – SELPER, 1998.
- MARTINS, D. Clima da região de Botucatu. In: ENCONTRO DE ESTUDOS SOBRE A AGROPECUÁRIA NA REGIÃO DE BOTUCATU, 1, 1989, Botucatu. *Anais...* Botucatu, UNESP, 1989, p 8-19.
- MAY, A.M.B; PINDER, J.E.; KROH, G.C. A comparision of Landsat Thematic Mapper and SPOT multi-spectral imagery for the classification of shrub and meadow vegetation in northern California, U.S.A. *International Journal of Remote Sensing*. v. 18, n. 18, p. 3719-28, 1997.

- MEDEIROS, J.S. de, TOMÁS, D.D., SIMÕES, M. *Introdução aos sistemas de informação geográfica*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 27, 1995, Sociedade Brasileira de Cartografia, 1995. 66p.
- MENDONÇA, I.F.C. de. *Retificação geométrica digital de imagem do Landsat 5 – sensor TM e aerofotograma, sobre base cartográfica em projeção UTM*. Santa Maria, 1996. 66p.  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Santa Maria.
- MOSCOSO, M.C., CARVALHO JÚNIOR, O.A., CARVALHO, A.P. de. Metodologia para confecção do mapa de características morfológicas do solo em SIG com finalidade de elaboração do mapa de aptidão para irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. *Anais em CD-ROM...* Rio de Janeiro, 1997.
- MOTTA, P.E.F., CARVALHO FILHO, A., PEREIRA, N.R., CARVALHO JÚNIOR, W., BLANCANEAUX, P. Aptidão agrícola das terras dos municípios de Silvânia e São Miguel do Passa Quatro – GO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 24, 1993, Goiânia – GO. *Resumos...* Goiânia: SBCS, 1993, p. 399-400.
- NASA - *The Landsat Program and Landsat Science*. Texto disponível na Internet:  
<http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/lswg.html>
- NOGUEIRA, R.N. *Modelamento matemático em Sistemas de Informações Geográficas aplicado ao levantamento preliminar de solos*. Pelotas, 1996, 88p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal de Pelotas.
- NOVO, E.M.L. *Sensoriamento Remoto, princípios e aplicações*. São Paulo: Blucher, 1992. 308p.
- OLIVEIRA, J.B de. *Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico*. Campinas: IAC, 1999. 108p. (boletim científico n° 45).

- OLIVEIRA, L.M.T. de., SILVA, E., BRITES, R.S. Utilização de um SIG para diagnóstico ambiental de fragmentos florestais, em nível de paisagem. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9, 1998, Santos. *Anais em CD-ROM...* Santos: INPE – SELPER, 1998.
- OLIVEIRA, P.S.G., PEREZ FILHO, A. Aplicação da fotografia aérea na recomposição da mata ciliar em bacias hidrográficas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, 1993, Ilhéus. *Resumos...* Ilhéus: Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira, 1993. p. 441-55.
- ORTIZ, M.J., FORMAGGIO, A.R., EPIPHANIO, J.C.N. Classification of croplands through integration of remote sensing, GIS and historical database. *International Journal of Remote Sensing*, v. 18, n. 1, p. 95-105, 1997.
- PALAVECINO, J.A., MAIOCCO, D.C., KOZARIK, J.C., GAUT, O. A., BENÍTEZ, J.C. *Levantamento de la cobertura y uso de la tierra en el municipio de Eldorado – Misiones – utilizando productos de los sensores remotos.* In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA, 9, 2000, Puerto Iguazu. *Anais em CD ROM...* São José dos Campos: SELPER, 2000.
- PEREIRA, R.S. *Quantificação e distribuição espacial do uso da terra com imagem TM do Landsat 5 no município de Guaíba-RS em 1984.* Santa Maria, 1986, 209p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Santa Maria.
- PEREIRA, R.S., MADRUGA, P.R. de A., HASENACK, H. *Geoprocessamento aplicado ao planejamento de uso de recursos naturais - Curso.* Santa Maria: UFSM-CCR-FATEC. 1995. 40p.

- PEREIRA, R.S. *Anotações de aula*. Santa Maria, 1997, Mestrado em Engenharia Agrícola - Universidade Federal de Santa Maria.
- PINTO, S.A.F., *Sensoriamento remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão dos solos: contribuição metodológica*. São José dos Campos, 1991, 134p. Tese (Doutorado INPE), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1991.
- PIROLI, E.L. *Sistema de informação geográfica e imagem de satélite para análise do uso da terra na microbacia do Arroio do Meio – Santa Maria – RS*. Santa Maria, 1999, 77 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Santa Maria.
- PRICE, K.P. Detection of soil erosion within Pinyon-Juniper Woodlands using Thematic Mapper (TM ) data. *Remote Sensing of enviroment*. V. 45, n.3, sept. 1993. p. 233-48.
- RAIJ, B., QUAGGIO, J.A, CANTARELLA, H. *Análise química do solo para fins de fertilidade*. Campinas, ed. Fundação Cargill, 1987. 252 p.
- RAMALHO FILHO, A., BEEK, K.J. *Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras*. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1995. 65p.
- RIBEIRO, F. L. *Sistemas de informações geográficas aplicados ao mapeamento dos usos atual e adequado da terra do alto Rio Pardo – Botucatu (SP)*. Botucatu, 1998. 114 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)- Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.
- ROCHA FILHO, J., PRIMAVESI, O. Utilização do SIG Idrisi para caracterização da microbacia do Ribeirão Canchim (Fazenda Canchim – Embrapa, São Carlos, SP): 2 – Cobertura arbórea. In GIS Brasil 1997, CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO, 3, Curitiba. *Anais em CD ROM*. Curitiba, 1997.

- RODRIGUES, J.B.T. *Variabilidade espacial e correlações entre fatores de produção e produtividade na agricultura de precisão*. Botucatu, 2002. 111 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.
- RODRIGUES, J.B.T., ZIMBACK, C.R.L., PIROLI, E.L. Comparação de métodos de interpolação na confecção de modelos digitais de terreno. In: GIS BRASIL 2000, Salvador. *Anais em CD ROM...* Curitiba: Fatorgis, 2000.
- RODRIGUES, J.B.T., ZIMBACK, C.R.L., PIROLI, E.L. Utilização de sistema de informação geográfica na avaliação do uso da terra em Botucatu – SP. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 25, n. 3, p. 675-81, 2001.
- RODRIGUES, M. *Introdução ao geoprocessamento*. Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo/USP. 23 a 25 de maio de 1990, p. 1-26.
- ROSA, R. *Introdução ao sensoriamento remoto*. Uberlândia: Edufu, 1995. 117p.
- ROSENFELD, G.H., FITZPATRICK-LINS, K.A. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 52, n. 2, p. 223-227, 1986.
- SANO, E.E., ASSAD, E.D., ORIOLI, A.L. Monitoramento da ocupação agrícola. In: ASSAD, E.D., SANO, E.E. *Sistema de informações geográficas aplicações na agricultura*. 2 ed. Brasília: Embrapa, 1998. p. 179 – 190.
- SANTOS, M.L.M., MATTOS, M.M., PIRES, I.O., BROWN, I.F., ASSIS, W.S. Utilização de imagens de satélite no mapeamento preliminar do uso da terra e na capacidade de agricultores do médio Rio Capim-Paragominas – PA, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO



- DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, 1993, São José dos Campos. Anais... São José dos Campos: INPE, 1993.
- SARTORI NETO, A., BRITES, R.S., SOARES, V.P., RIBEIRO, J.C. Subsídios para Elaboração do Plano de Manejo do Parque *Grande Sertão Veredas* por meio de um Sistema de Informações Geográficas In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10, 2001, Foz do Iguaçu. *Anais em CD-ROM...* São José dos Campos: INPE – SELPER, 2001.
- SENDRA, J.B., MARTÍNEZ, F.J.E., HERNÁNDEZ, E.G., GARCÍA M.J.S. *Sistemas de Información Geográfica: prácticas con PC ARC/INFO e Idrisi*. Madrid: RA-MA, 1994.
- SIMÕES, L.B. *Integração entre um modelo de simulação hidrológica e Sistema de Informação Geográfica na delimitação de zonas tampão ripárias*. Botucatu, 2001, 171 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.
- SPANHOL, F. A., LEAL, L. L., DALLABRIDA, R. M., PEREIRA, S. A. R., KISSULA, S. R. Princípios básicos de geoprocessamento. In: WORKSHOP DE APLICATIVOS DO NÚCLEO DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS, 2, 1999, Unioeste, Campus de Cascavel, 1999. 33 p.
- STAR, J., ESTES, J. *Geographic Informarion Systems: an introduction*. New Jersey: Prentice Hall, 1990. 302 p.
- STEHMAN, S.V. Use of auxiliary data to improve the precision of estimators of thematic map accuracy. *Remote Sensing of enviroment*. V. 58, n.2, nov.. 1996. p. 169-76.

- STEHMAN, S.V.; CZAPLEWSKI, R.L. Design and analysis for thematic map accuracy assessment: fundamental principles. *Remote Sensing of environment*. V. 64, n.1, jan.. 1998. p. 331-44.
- TEIXEIRA, A.L.de A., MORETI, E., CHRISTOFOLETTI, A. *Introdução aos sistemas de informação geográfica*. Rio Claro: ed. do Autor. 1992. 80p.
- TORNERO, M.T. *Análise ambiental através de Sistema de Informações Geográficas (SIG), como subsídio ao planejamento no município de Maringá – PR*. Botucatu, 2000, 184 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.
- VALÉRIO FILHO, M., DONZELI, P.L., PINTO, S. dos A. F., NETO, F.L. Monitoramento da dinâmica do uso agrícola e vegetação natural em microbacias hidrográficas através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. *Anais em CD-ROM...* Rio de Janeiro, 1997.
- VENTURIERI, A., SANTOS, J.R.dos. Técnicas de classificação de imagens para análise de cobertura vegetal. In: ASSAD, E.D., SANO, E.E. *Sistema de informações geográficas aplicações na agricultura*. 2 ed. Brasília: Embrapa, 1998. p. 351 - 371.
- ZIMBACK, C. R. L., RODRIGUES, R. M. *Determinação da capacidade de uso das terras da Fazenda São Manuel - UNESP*. FEPAF/FCA/UNESP, Botucatu, 1993. 36p.
- ZIMBACK, C.R.L. *Levantamento de solos*. Apostila. Curso de pós-graduação em agronomia, Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP. 1997.