



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE USO DAS
TERRAS NO PERÍMETRO URBANO DE
SANTA MARIA - RS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Fabrício de Araújo Pedron

Santa Maria, RS, Brasil

2005

CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE USO DAS TERRAS NO PERÍMETRO URBANO DE SANTA MARIA - RS

por

Fabício de Araújo Pedron

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Processos Físicos e Morfogenéticos do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo.**

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Simão Diniz Dalmolin

Santa Maria, RS, Brasil

2005

© 2005

Todos os direitos autorais reservados a Fabrício de Araújo Pedron. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho será permitida somente com a citação autoral.

Endereço: Departamento de Solos, UFSM, Prédio 42, sala 3314, fone: 220 - 8108, cep. 97105-900, Santa Maria, RS. e.mail: fapedron@yahoo.com

Pedron, Fabrício de Araújo, 1978

P372c

Classificação do potencial de uso das terras no perímetro urbano de Santa Maria - RS / por Fabrício de Araújo Pedron; orientador Ricardo Simão Diniz Dalmolin. – Santa Maria, 2005.

ix, 65 f.; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

1. Ciência do solo 2. Levantamento do solos 3. Uso da terra 4. Solo 5. Sensoriamento remoto 6. Urbanização I. Dalmolin, Ricardo Simão Diniz, orient. II. Título

CDU: 631.4

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE USO DAS TERRAS NO
PERÍMETRO URBANO DE SANTA MARIA - RS**

elaborada por
Fabício de Araújo Pedron

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Ricardo Simão Diniz Dalmolin, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Prof. Antonio Carlos de Azevedo, PhD. (UFSM)
(Membro/Co-orientador)

Prof. Alberto Vasconcellos Inda Jr., Dr. (UFRGS)
(Membro)

*“A todas as flores que fazem parte de minha vida, em especial, a mais bela e perfumada que Deus enviou-me para que, carinhosamente, a chamasse de filha... a **Gabrielli Menezes Pedron** dedico esta obra”.*

AGRADECIMENTOS

Ao amigo, colega e Prof. Ricardo Simão Diniz Dalmolin, pela orientação neste trabalho, pela amizade e companheirismo em todos os momentos, pelo respeito e dedicação empregada nestes dois anos de convivência, por todos os ensinamentos sob todos os aspectos e pela postura profissional a ser seguida;

Ao amigo, colega e Prof. Antonio Carlos de Azevedo, pela co-orientação neste trabalho, mas sobretudo, pelos ensinamentos diários e exemplo de responsabilidade, ética e profissionalismo a ser seguido;

Ao amigo, colega e Prof. Ari Zago, pela acolhida e orientação durante os trabalhos de graduação e pelos exemplos de bondade, respeito e amizade, os quais jamais serão esquecidos;

A todos os colegas de turma, em especial ao Paulo de Mello, Marcio Botelho, Luis Suzuki, Anderson Rhoden, Ana Paula Roveder, Cláudio Fioreze, Sinval Kist, João Pellegrini, Maria Angélica Lima e Tatiana Benedetti pelas alegrias e pelo companheirismo dividido neste período;

Aos fieis escudeiros: Everton L. Poelking, Pablo Miguel, Rodrigo B. Rodrigues, Alessandro S. Rosa, Ronei S. Sana, Marcio R. Botelho e Paulo L. de Mello, pela força e companheirismo nos trabalhos de campo e laboratório, assim como os demais colegas e amigos do setor de Gênese e Levantamento de Solos.

A todos os meus familiares e amigos, em especial aos meus irmãos, meu pai Aldo Pedron e minha mãe Ceres Helena de Araújo Pedron, pelo amor que me faz forte a cada dia. A minha companheira Josiane Menezes e filha Gabrielli Pedron, pelo carinho, força, dedicação, alegrias e todos os bons sentimentos procedentes do nosso grande amor.

“A todos os amigos que de qualquer forma contribuíram na realização deste trabalho e aqueles que todos os dias contribuem na minha caminhada tornando-me uma pessoa melhor... eu agradeço”.

*“Não sou escravo de ninguém
Ninguém senhor do meu domínio
Sei o que devo defender
E por valor eu tenho
E temo o que agora se desfaz...”*

*Quase acreditei na tua promessa
E o que vejo é fome e destruição...*

*É a verdade o que assombra
O descaso que condena
A estupidez o que destrói
Eu vejo tudo que se foi
E o que não existe mais...*

*Não me entrego sem lutar
Tenho ainda coração
Não aprendi a me render
Que caia o inimigo então...*

*Tudo passa
Tudo passará...
O mundo começa agora,
Apenas começamos”.*

(Metal contra as nuvens - Renato Russo).

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

CLASSIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE USO DAS TERRAS NO PERÍMETRO URBANO DE SANTA MARIA - RS

Autor: Fabrício de Araújo Pedron
Orientador: Ricardo Simão Diniz Dalmolin
Data e local da defesa: Santa Maria, 23 de fevereiro de 2005.

Nas últimas décadas, o fenômeno da urbanização tem transformado imensos espaços naturais em áreas extremamente alteradas. A conversão de uma sociedade rural para uma urbana tem ocorrido sem o devido cuidado com a qualidade de vida em relação aos aspectos sociais e ambientais, sendo sua consequência a destruição e contaminação dos recursos naturais, assim como o comprometimento de áreas onde a concentração humana é cada vez maior. Nesse sentido, os objetivos desse trabalho foram avaliar a situação e o potencial de uso urbano das terras no perímetro urbano de Santa Maria - RS, através de três estudos. O primeiro visou à proposição de um sistema de avaliação do potencial de uso urbano das terras, considerando diferentes grupos de uso. O segundo realizou o levantamento de solos, determinou o potencial de uso das terras e seus conflitos atuais na área estudada, enquanto o terceiro efetuou uma análise da dinâmica espacial de ocupação das terras e seus conflitos de uso para diferentes épocas desde 1975 até 2002. Ferramentas como sensoriamento remoto e geoprocessamento foram utilizadas na realização dos trabalhos. Os resultados apontaram problemas em relação ao uso das terras, onde áreas são utilizadas acima de sua capacidade, promovendo degradação dos recursos naturais, afetando parte da população santamariense.

Palavras-chave: Levantamento de solos, uso das terras, SAPUT, solos, sensoriamento remoto, urbanização.

ABSTRACT

Dissertation of Master's degree
Soil Science Graduate Program
Federal University of Santa Maria

CLASSIFICATION OF LAND USE POTENCIAL IN THE URBAN PERIMETER OF SANTA MARIA - RS

Author: Fabrício de Araújo Pedron
Advisor: Ricardo Simão Diniz Dalmolin
Date and Place of Defense: Santa Maria, February 23rd, 2005.

In the last decades, the phenomenon of the urbanization has been transforming a large natural spaces into an extremely altered areas. The conversion of a rural society to an urban one has happened without caring with life quality related to the social and environmental aspects, being the destruction and contamination of the natural resources its consequence, as well as the compromising of areas where the human concentration is increasing. The objectives of this research was to evaluate the land use situation and the urban land use potential of Santa Maria's urban perimeter, through three studies. The first one intended to propose an urban land use potencial system, considering different groups of land use. The second one accomplished the soils survey, determined the land use potential and their current use conflicts in the studied area, while the third study made a spatial analyzes of the land occupation and its use conflicts from 1975 to 2002. Tools as remote sensing and digital geoprocessing were used in the research. The results pointed to problems related to land use, where areas are used above its capacity, promoting degradation of the natural resources that might affect the population of the city.

Key words: Soil survey, land use, SAPUT, soils, remote sensing, urbanization.

SUMÁRIO

Capítulo 1. Revisão Bibliográfica

1. Levantamento e classificação de solos em áreas urbanas	1
1.1. Introdução	2
1.2. O processo de urbanização e seus impactos ambientais	3
1.3. Solos urbanos	4
1.4. Levantamento dos solos urbanos	5
1.5. Classificação dos solos urbanos	10
1.6. Conclusões	13

Capítulo 2. Estudo 1

2. Sistema de Avaliação do Potencial de Uso Urbano das Terras (SAPUT) - 1ª aproximação	14
2.1. Introdução	15
2.2. Material e métodos	16
2.3. Resultados	18
2.4. Conclusões	26

Capítulo 3. Estudo 2

3. Utilização do Sistema de Avaliação do Potencial de Uso Urbano das Terras no diagnóstico ambiental do município de Santa Maria - RS	28
3.1. Introdução	29
3.2. Material e métodos	30
3.3. Resultados e discussão	33
3.4. Conclusões	42

Capítulo 4. Estudo 3

4. Análise da dinâmica espacial da ocupação das terras e seus conflitos de uso no perímetro urbano de Santa Maria - RS (1975 - 2002)	44
4.1. Introdução	45
4.2. Material e métodos	46
4.3. Resultados e discussão	48
4.4. Conclusões	58
5. Referências bibliográficas	59

CAPÍTULO 1

Revisão Bibliográfica

LEVANTAMENTO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS EM ÁREAS URBANAS

1. LEVANTAMENTO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS EM ÁREAS URBANAS

1.1. INTRODUÇÃO

O fenômeno da urbanização promove inúmeros impactos sobre a paisagem urbana e rural. Intensificada no Brasil a partir da década de 70, a urbanização é considerada um processo inevitável resultante da organização social humana que visa à adequação e melhoria da qualidade do ambiente, proporcionando melhores condições de vida em comunidade. No entanto, a falta de planejamento quanto à expansão das cidades, tão comumente observada nos centros urbanos, acaba por degradar o ambiente utilizado, dificultando sua recuperação e aumentando os custos deste processo.

A expansão das cidades sobre áreas rurais é bastante freqüente e intensa em centros com acelerado processo de urbanização. A expansão urbana sem planejamento promove um verdadeiro “caos urbano”, caracterizado, principalmente, pela falta de trabalho, moradia e saneamento básico, o que acaba promovendo a ocupação ilegal de áreas rurais e seu loteamento sem o conhecimento de suas propriedades ecológicas e importância ao ambiente natural.

Um dos elementos da paisagem mais afetados pela urbanização é o solo. Considerado um corpo natural resultante da interação de vários fatores e processos de formação, este material constitui a camada mais externa da crosta terrestre. O solo apresenta funções vitais ao ecossistema como, por exemplo, suporte a vida vegetal e filtro natural, impedindo que diversas substâncias tóxicas sejam dispersas no meio ambiente. Assim, todas as atividades resultantes do processo de urbanização afetarão diretamente o recurso solo, com maior ou menor intensidade, podendo muitas vezes aumentar o grau de degradação do ambiente, afetando também a qualidade de vida da população.

O solo apresenta ainda propriedades intrínsecas que vão determinar sua aptidão e limitação de uso, as quais são comumente desconsideradas durante as atividades antrópicas. É comum nos centros urbanos a conversão de terras com significativa importância ecológica em áreas construídas, assim como os ambientes frágeis que oferecem riscos devido a sua instabilidade, como encostas de morros, banhados e margens de cursos d'água. Esses ambientes desempenham papel importante no equilíbrio natural, devendo ser preservados das pressões antrópicas.

A intensificação das atividades humanas em áreas urbanizadas, freqüentemente, provoca degradação dos solos. Neste sentido, existe uma carência muito grande de

informações sobre os solos existentes sob as cidades, sendo essas necessárias para um melhor planejamento de uso desses recursos. O mapeamento e classificação dos solos, considerando suas características e propriedades morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas, além do seu potencial de uso, juntamente com o avanço urbano e as áreas de risco podem ser muito úteis ao planejamento do uso racional destes espaços.

A coleta de informações referente ao diagnóstico da urbanização e o ambiente natural é o primeiro passo para melhor se entender este processo. A partir de um entendimento maior, as atividades urbanas sobre áreas impróprias poderiam ser contidas, através da adequação do manejo utilizado nestes ambientes, reduzindo a degradação dos recursos naturais e melhorando a qualidade ambiental das áreas urbanas.

1.2. O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS

O processo de urbanização deve ser entendido como a interação de fatores sociais e econômicos, caracterizados num dado momento histórico e político. Este processo ocorreu, de forma acentuada, devido aos efeitos da industrialização, do grande crescimento demográfico e da forte migração rural (ROSSATO, 1993). No Brasil, o processo industrial iniciou seu crescimento significativo na década de 30, quando então, conseqüentemente, deu-se início ao processo de urbanização no país, o qual intensificou-se a partir da década de 70. Dados do censo de 1991 mostram que a população urbana no Brasil cresceu de 12,8 milhões na década de 40 para 110,9 milhões no início da década de 90, atingindo 137,9 milhões no censo de 2000 (IBGE, 2005). A taxa de urbanização subiu de 32 % em 1940 para 75 % em 1991 (DA COSTA & CINTRA, 1999), chegando a 81 % em 2000, evidenciando o atual caráter urbano irreversível do país (BRASIL, 2004).

A alta concentração populacional nos centros urbanos resulta da falta de adoção de políticas urbanas que possibilitem a organização social e ambiental dessas áreas. Na maioria dos casos, o crescimento urbano ocorreu de forma desorganizada, sem a devida preocupação com a qualidade paisagística e o bem estar de seus habitantes (CALLAI, 1993; DA COSTA & CINTRA, 1999). Este crescimento foi tão intenso a partir de 1970 que o poder público perdeu o controle da expansão urbana, criando-se inúmeros loteamentos irregulares, conhecidos como favelas, muitos dos quais, sobre áreas de preservação permanente, em terrenos frágeis sob o ponto de vista físico, tais como: encostas de morros, banhados e margens de cursos d'águas (CALLAI, 1993).

O desconhecimento da paisagem local e seus mecanismos ecológicos, aliado à inexistência de planejamento multidisciplinar da urbanização, promovem efeitos adversos ao desenvolvimento sustentável do ambiente urbano (EL ARABY, 2002). De acordo com DA SILVA & MAGALHÃES (1993), algumas técnicas usadas no processo de urbanização rompem os ciclos naturais, tais como a impermeabilização da superfície do solo, desrespeito às condições topo-pedológicas locais, elevação do albedo em áreas construídas, uso dos solos e das águas para descarte de resíduos não tratados e insuficiência de vegetação no meio urbano. Segundo CALLAI (1993), nesse ambiente estabelece-se uma relação de desconhecimento e desinteresse pela natureza e sua lógica, verificando-se um domínio do meio natural pelas obras civis, desconsiderando-se os benefícios que os elementos naturais oferecem ao equilíbrio e manutenção do ecossistema urbano.

1.3. SOLOS URBANOS

O termo “solos urbanos” refere-se a solos que se encontram no meio urbano (STROGANOVA & AGARKOVA, 1993; JIM, 1998; CRAUL, 1999; GE et al., 2000; DE KIMPE & MOREL, 2000; MADRID et al., 2002; MANTA et al., 2002; LU et al., 2003), e objetiva ressaltar um conjunto de possíveis modificações nas suas propriedades, típicas do meio urbano (PEDRON et al., 2004a). Porém, a maior dificuldade é distinguir as características pedogenéticas daquelas resultantes do uso urbano, haja vista a complexidade das atividades humanas neste ambiente e seus efeitos sobre a cobertura pedológica (BLUME, 1989).

É importante destacar que os termos “solos antrópicos” e “solos urbanos” não são equivalentes. Solos antrópicos é um termo que contempla aqueles significativamente modificados pelo uso intenso e continuado do homem através da exploração agrícola, mineral, urbana, entre outras. Neste caso, solos urbanos têm sido considerados como uma subdivisão dos solos antrópicos (DE KIMPE & MOREL, 2000), entretanto, sob o ponto de vista da pedogênese, essa afirmação também não é verdadeira, haja visto que existem solos não antrópicos em ambientes urbanos, inclusive sob uso humano.

A influência antrópica nos solos encontrados no meio urbano pode provocar diversas alterações morfológicas, físicas e químicas (SCHLEUB et al., 1998). As modificações mais freqüentes impressas no solo em áreas urbanas são a remoção dos horizontes superficiais em áreas de corte e a estratificação de camadas com materiais distintos nas áreas de aterro, introdução de materiais exógenos provenientes de descartes de construções utilizados para

reconstituição do solo removido (JIM, 1998) aumentando a variabilidade horizontal e vertical do solo devido à distribuição do material de forma heterogênea na área (DE KIMPE & MOREL, 2000). Esta heterogeneidade morfológica do solo é importante, pois interfere em diversas propriedades fundamentais a manutenção do equilíbrio ambiental (AZEVEDO & DALMOLIN, 2004). Problemas de alterações na densidade, porosidade, estrutura e textura são ocasionados pelas atividades humanas sobre os solos, assim como a adição de substâncias que apresentam elementos químicos potencialmente poluentes, afetando todo o ambiente urbano. Embora processos naturais imprimam alterações semelhantes nos solos, as atividades antrópicas caracterizam-se e distinguem-se pela sua intensidade e rapidez.

Os solos urbanos apresentam diversas funções nesse ambiente, tais como: suporte e fonte de material para obras civis, sustento das agriculturas urbanas, suburbanas e de áreas verdes, meio para descarte de resíduos e armazenamento e filtragem de águas pluviais. O desempenho adequado destas funções depende das propriedades pedológicas apresentadas pelos diferentes tipos de solos, as quais devem ser funcionais e estarem associadas a outras propriedades ambientais (AZEVEDO & DALMOLIN, 2004; NASCIMENTO et al., 2004; PEDRON et al., 2004a).

Portanto, o solo deve ser utilizado conforme o seu potencial de uso, observando suas potencialidades e respeitando suas limitações e fragilidades. O uso inadequado do recurso solo no meio urbano pode provocar problemas relacionados à compactação, erosão, poluição, inundações, deslizamentos e transmissão de doenças, os quais são resultantes da falta de conhecimento do comportamento dos solos quando submetidos às aplicações urbanas. Em todos os casos citados, ocorre degradação da qualidade de vida, e em muitos, os prejuízos são irreparáveis ou sua recuperação é inviável, sendo necessário maior investimento no estudo e na divulgação do uso do solo e seus efeitos no meio urbano (PEDRON et al., 2004a).

1.4. LEVANTAMENTO DOS SOLOS URBANOS

Levantamentos de solos são trabalhos executados no campo e no laboratório, os quais se destinam a registrar, analisar e interpretar observações do meio físico e de características e propriedades morfológicas, físicas, químicas, mineralógicas e biológicas dos solos, visando sua caracterização e classificação, bem como o seu mapeamento (EMBRAPA, 1995). Os levantamentos de solos servem de base para a determinação do potencial de uso das terras, a qual engloba os solos e os demais elementos do ambiente, como relevo, clima, vegetação,

recursos hídricos e outros (LEPSCH et al., 1991; DENT & YOUNG, 1993; RAMALHO FILHO & BEEK, 1995; NASCIMENTO et al., 2004).

Um dos principais objetivos do levantamento de solos é o conhecimento da sua distribuição na superfície terrestre, conhecida como variabilidade espacial. A variabilidade espacial dos solos está condicionada, entre outros fatores, ao relevo. Essa relação entre feições do relevo e a distribuição dos solos é chamada de relação solo – paisagem, a qual indica que a interação dos fatores e processos pedogenéticos permite um primeiro delineamento de diferentes tipos de solos em determinados compartimentos da paisagem. A relação solo – paisagem, quando bem compreendida, serve de ferramenta na distinção de ambientes pedogenéticos, facilitando o processo de mapeamento deste recurso natural (HALL, 1983; SMECK et al., 1983; LAMMERS & JOHNSON, 1991, DALMOLIN & PEDRON, 2004).

A expressão da variabilidade espacial dos solos está ligada com a escala de trabalho, ou seja, com o nível de detalhe em que o levantamento será realizado (DALMOLIN et al., 2004). Neste sentido, a correlação das escalas de publicação final dos mapas e os objetivos para os quais o trabalho será desenvolvido são fundamentais ao mapeamento dos solos e uso adequado das informações geradas (KLAMT et al., 2000; STRECK et al., 2002). Por exemplo, o uso de informações obtidas de levantamentos de reconhecimento dos solos, com escala de 1:750.000 não é adequado para planejamento de qualquer atividade em nível de município, onde a escala de trabalho deve ser 1:50.000 ou maior, com levantamentos de solos do tipo semidetalhados (EMBRAPA, 1995; KLAMT et al., 2000; DALMOLIN et al., 2004).

Considerando a significativa expansão das cidades nestas últimas décadas e todas as suas implicações ambientais negativas, é fundamental a existência de informações sobre diversos aspectos do ecossistema urbano. De acordo com STROGANOVA & AGARKOVA (1993), cada município deveria possuir mapas de suas condições ecológicas, assim como mapas de previsões e recomendações práticas visando otimizar as condições sanitárias e ambientais da cidade. Visto que o solo desempenha uma série de funções ecológicas importantes no meio urbano (AZEVEDO, 2004), seu levantamento e mapeamento é básico para o planejamento de ações dirigidas a conservação natural e a qualidade ambiental desses espaços (STROGANOVA & AGARKOVA, 1993).

Levantamentos de solos semidetalhados possuem normas e critérios bem definidos (EMBRAPA, 1995; KLAMT et al., 2000), quando aplicados no inventário de áreas rurais. No entanto, sua utilização para áreas urbanas, principalmente aquelas com alta densidade de ocupação, apresenta deficiências metodológicas (GHERARDI et al., 2003; PEDRON et al., 2004b). De acordo com esses autores, algumas etapas realizadas nos trabalhos de

levantamentos de solos convencionais (direcionados a áreas rurais) devem ser alteradas ou adaptadas para áreas urbanas. Ao contrário do ambiente rural que apresenta amplos espaços abertos e cobertura do solo natural, o ambiente urbano caracteriza-se pela presença de diferentes materiais artificiais, alta densidade de ocupação predial, alto grau de impermeabilização da superfície e grandes transformações morfológicas da cobertura pedológica (SCHLEUB et al., 1998; CRAUL, 1999; PEDRON et al., 2004a). Tais condições são suficientes para dificultarem a etapa de fotointerpretação, relativa a separação dos diferentes compartimentos da paisagem, e a checagem e delimitação dos diferentes solos no campo.

Nesse sentido, adaptações devem ser efetuadas para possibilitar o levantamento de forma confiável. Em relação a fotointerpretação, a identificação do relevo e separação dos compartimentos da paisagem podem ser realizados, de maneira preliminar, com o apoio das cartas topográficas e do modelo numérico do terreno, gerado em aplicativo computacional, sendo posteriormente conferido e ajustado no campo. Quanto à checagem e delimitação dos diferentes solos no campo, as dificuldades estão relacionadas com a interferência na relação solo - paisagem, devido às alterações antrópicas da paisagem natural e a seleção de pontos de amostragem adequados em meio às mesmas alterações já citadas. Nesse caso, um maior esforço deve ser realizado na amostragem dos solos para determinação das classes, visto que as transeções comumente utilizadas nos levantamentos em áreas rurais tornam-se freqüentemente inviáveis no meio urbano. Quanto maior for a densidade de ocupação urbana, maior a dificuldade de se encontrar pontos de amostragem adequadamente distribuídos considerando a relação solo – paisagem (PEDRON et al., 2004b).

Outras ferramentas indispensáveis no levantamento de solos urbanos são aquelas referentes ao sensoriamento remoto e ao geoprocessamento. O uso de produtos do sensoriamento remoto como fotografias aéreas e imagens multiespectrais, manipulados em aplicativos computacionais com a utilização das técnicas de geoprocessamento digital, representa um avanço considerável em termos de eficiência e velocidade de processamento dos dados, confiabilidade final das informações geradas e possibilidades de manuseio de dados de diferentes componentes do ecossistema urbano (BURROUGH & McDONNELL, 1998; MILLER & SMALL, 2003).

1.4.1. Sensoriamento remoto aplicado ao levantamento dos solos urbanos

O sensoriamento remoto é um conjunto de técnicas relacionadas com a coleta e armazenamento das informações sobre determinado objeto (alvo) ou a respeito de um

fenômeno natural através de sensores, utilizando a energia radiante, chamada radiação eletromagnética, sem que haja o contato direto entre o sensor e o objeto (NOVO, 1992; MOREIRA, 2003).

No campo da pedologia, o sensoriamento remoto é uma ferramenta intensamente explorada para diversas finalidades. Sua utilização é importante nos levantamentos de solos em diferentes escalas, determinação do potencial e dos conflitos de uso das terras, facilitando os processos de obtenção de dados, através da redução dos custos e tempo empregado (MULDERS, 1987, DENT & YOUNG, 1993). Em relação ao meio urbano, o sensoriamento remoto oferece inúmeras possibilidades de aquisição de dados dos diferentes componentes deste complexo ecossistema, permitindo um monitoramento constante e favorecendo o entendimento da dinâmica dos processos ocorridos nesse ambiente (MILLER & SMALL, 2003).

Dentre os diversos produtos do sensoriamento remoto, destacam-se, pelo potencial de uso nos levantamentos de solos urbanos, as fotografias aéreas, imagens multiespectrais e curvas radiométricas. As fotografias aéreas são extremamente importantes, pois auxiliam em diferentes fases do levantamento, sendo muito úteis na confecção do mapa base por fotogrametria. Também são muito utilizadas para fotointerpretação, na separação dos diferentes compartimentos da paisagem, possibilitando um planejamento mais adequado das operações de campo, tais como: seleção das rotas, seleção dos pontos amostrais representativos e seleção das catenas e topossequências mais representativas (CARVER, 1988; DENT & YOUNG, 1993). As fotografias aéreas destacam-se pela alta resolução espacial, no entanto, apresentam menor resolução espectral e temporal, além de exigirem mais tempo e recurso na sua produção e estarem sujeitas a interpretações humanas subjetivas (WENTZ et al., 2004).

As imagens de satélites (imagens multiespectrais) possuem características interessantes à pedologia urbana. Uma dessas características é o registro da mesma cena em diferentes faixas espectrais, o que permite a sobreposição de imagens ressaltando-se um determinado objeto na superfície terrestre, ou a utilização de uma faixa espectral para obtenção de uma informação específica, como por exemplo, a umidade superficial do solo ou a distinção entre diferentes superfícies (MULDERS, 1987; DENT & YOUNG, 1993; FLORENZANO, 2002). Outra característica importante é a possibilidade de classificação digital automática das imagens através de algoritmos, o que minimiza consideravelmente a subjetividade nesse processo, permitindo que a utilização dessas imagens seja muito eficiente na determinação dos diferentes usos das terras (FORMAGGIO et al., 1992; PIROLI et al.,

2002; WENTZ et al., 2004). De acordo com TREITZ et al. (1992), HARRIS & VENTURA (1995) e WU (2004), dados de média resolução como os gerados pelos sensores TM e ETM+ dos satélites Landsat 5 e 7 respectivamente, tem sido muito utilizados no mapeamento do uso das terras urbanas através da classificação digital.

Entretanto, estudos de áreas urbanas através de imagens de satélites requerem alguns cuidados especiais. O principal deles está relacionado com a grande heterogeneidade de materiais existentes no meio urbano, os quais apresentam diferentes valores espectrais que podem dificultar a classificação digital pixel a pixel. Isso ocorre porque cada pixel, no caso de imagens de média a baixa resolução, representa a combinação de diferentes tipos de superfícies, o que frequentemente causa confusão com outros tipos de uso das terras como solo exposto e recursos hídricos (SMALL, 2002; WU, 2004). ORMSBY (1992) utilizando imagens do Landsat distinguiu nove diferentes classes de uso com propriedades espectrais significativas em áreas urbanas.

Neste sentido, segundo MILLER & SMALL (2003), estudos detalhados do meio urbano devem ser realizados em escalas grandes, utilizando-se imagens de alta resolução espacial, maiores que 10 metros. Nas instituições públicas de pesquisa do Brasil, a maioria dos trabalhos utilizam produtos gerados pelos sensores a bordo dos satélites Landsat 5 e 7, os quais apresentam resolução espacial de 30 metros, dificultando estudos em escalas maiores que 1:25.000. Uma opção existente é a utilização de imagens de satélites como Ikonos e QuickBird, os quais apresentam resoluções espaciais de um e 0,61 metros respectivamente e, obviamente, custo muito mais alto que as imagens do Landsat, limitando assim a sua aquisição. Além disso, estes últimos satélites foram lançados recentemente, não apresentando séries históricas que possibilitem estudos temporais de alguns fenômenos importantes ao ecossistema urbano.

Outro produto do sensoriamento remoto, as curvas espectrais, geradas pelos espectroradiômetros a partir da medida da reflectância de um determinado objeto, são muito úteis na identificação de propriedades dos solos. Após anos de pesquisa nesta área, já é possível conhecer padrões de curvas espectrais para diferentes solos. Estas curvas são as impressões dos teores de matéria orgânica, granulometria, tipos de óxidos de ferro e umidade dos solos. Tais medidas permitem uma qualificação e quantificação, através do uso de algoritmos, de modo simples, rápido e com menor dispêndio de recursos (DALMOLIN, 2002; DEMATTÊ et al., 2004).

1.4.2. Geoprocessamento aplicado ao levantamento de solos urbanos

No fim do século 20 ficou evidente a necessidade de dados sobre os recursos naturais, bem como novas ferramentas que permitam o manejo mais adequado das diversas informações relativas ao meio ambiente. As técnicas de geoprocessamento foram desenvolvidas para essas finalidades, sendo o sistema de informações geográficas (SIG) de grande importância e utilidade (BURROUGH & McDONNELL, 1998).

Um SIG pode ser definido como um conjunto de módulos computacionais utilizados para coletar, armazenar, recuperar, transformar e mostrar dados espaciais sobre o mundo real para um conjunto particular de objetos (CHRISMAN, 1997; BURROUGH & McDONNELL, 1998). O SIG tem sido amplamente utilizado e obtido bons resultados quando integrado ao manejo de recursos naturais (FORMAGGIO et al., 1992; LOPES - ASSAD, 1995; ALVES et al., 2000). Os SIG's são uma excelente ferramenta para investigação de fenômenos relacionados ao meio urbano e rural, proporcionando uma eficiente análise dos solos, vegetação, geologia, geomorfologia e hidrologia do terreno (CALIJURI & ROHN, 1994), subsidiando através da ordenação dos dados levantados um planejamento mais adequado à realidade da área trabalhada.

Atualmente, estes sistemas são tão importantes na análise e manejo ambiental que a sua utilização torna-se indispensável em órgãos de mapeamento ou gerenciamento de recursos naturais (BURROUGH & McDONNELL, 1998). O SIG tem sido útil no levantamento dos solos, na padronização e no cruzamento de informações geradas em épocas distintas, e não raramente encontradas em formatos diferentes, auxiliando na definição de práticas adequadas de manejo e conservação da paisagem (LOPES - ASSAD, 1995).

Quanto ao levantamento e manejo dos solos urbanos, o SIG permite o processamento digital do banco de dados gerado nessas atividades. Todos os planos de informação (PI), tais como: solos, modelo digital do terreno, geologia, vegetação, recursos hídricos, uso atual das terras, entre outros, são criados e manipulados com técnicas de geoprocessamento em ambiente SIG. Assim, todas as informações resultantes dos cruzamentos desses diferentes PI são processadas digitalmente com maior rapidez e confiabilidade.

1.5. CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS URBANOS

A classificação de solos possui importância fundamental na organização sistemática das informações sobre esse recurso. A sistematização das observações de campo pela classificação dos solos visa promover e facilitar o entendimento, a lembrança, a generalização

das informações obtidas e, até mesmo, a predição daquelas não coletadas (KELLOGG, 1963). Outro propósito da classificação é estabelecer grupamentos para fins de interpretações utilitárias (CLINE, 1949). Os sistemas de classificação de solos podem ser naturais ou taxonômicos, quando baseados em propriedades observadas (EMBRAPA, 1999), e técnicos ou interpretativos, quando construídos sobre um determinado tipo de uso do solo (LEPSCH et al., 1991; RAMALHO FILHO & BEEK, 1995; RAMALHO FILHO & PEREIRA, 1999; PEREIRA, 2002).

1.5.1. Sistemas de classificação taxonômica

A quase totalidade dos sistemas de classificação de solos no mundo são morfogenéticos, ou seja, usam critérios morfológicos relacionados aos processos de formação dos solos para definir as classes de solos. Muitos deles são contemplados com o termo solos antrópicos, como no sistema da FAO, francês (SPAARGAREN, 2000), WRB (ISSSWG RB, 1998) e o australiano (ISBELL, 1996). Solos urbanos têm sido discutidos mundialmente como uma subdivisão dos solos antrópicos, como já ocorrem em alguns sistemas de classificação: sistema russo (POPKOV & DEMENT'EVA, 2002) e o sistema da FAO (FAO, 1994). Há uma grande dificuldade na definição de critérios (atributos diagnósticos) para classificação dos solos urbanos, já que as atividades humanas são bastante complexas, podendo estas, serem detectadas pela alta concentração de metais pesados (ALEXANDROVSKAYA & ALEXANDROVSKIY, 2000; HILLER, 2000; MADRID et al., 2002; MANTA et al., 2002; NAVAS & MACHIN, 2002), metano (BLUME, 1989), deposição de rejeitos de construção e industriais (STROGANOVA & AGARKOVA, 1993; ALEXANDROVSKAYA & ALEXANDROVSKIY, 2000), e/ou alteração do regime hídrico e térmico do solo (STROGANOVA & AGARKOVA, 1993).

Esta variedade de efeitos, resultantes da ação humana, dificulta o estabelecimento de um sistema de classificação de solos para o meio urbano. Segundo PEDRON et al. (2004a), a diversidade de alterações antrópicas nos solos dificulta, quando não inviabiliza, a identificação e a classificação destes solos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMBRAPA, 1999), o qual atualmente não contempla o termo solos antrópicos, apenas horizonte A antrópico. Neste caso, é extremamente importante a inclusão de uma nova classe ou subclasse que contemple estes ambientes, visto que sua área de ocorrência vem crescendo a cada dia e que atividades de risco desenvolvem-se sobre elas, tais como assentamentos humanos e agricultura urbana (PEDRON et al., 2004b). Entretanto, existe a

proposição de se criar a ordem Antropossolos no SiBCS, a qual foi apresentada no XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo em 2003.

1.5.2. Sistemas de classificação técnica ou interpretativa

Os sistemas de classificação técnica se propõem a determinar o potencial de uso das terras baseados em diferentes informações ambientais, sociais e econômicas para um ou mais tipos de utilização (FAO, 1976). Informações referentes a este potencial são fundamentais ao planejamento de áreas agrícolas, urbanas, industriais, recreacionais, etc., permitindo a utilização adequada das terras, sem degradação do meio ambiente (DALMOLIN & PEDRON, 2004; NASCIMENTO et al., 2004).

A organização dos sistemas de classificação técnica deve seguir alguns princípios que norteiam o seu funcionamento adequado. De acordo com CLINE (1949) e FAO (1976), os sistemas técnicos devem apresentar definições claras dos seus objetivos, nível de informações compatível com a sua proposição, seleção de indicadores que realmente tenham significância em relação aos objetivos, devendo também apresentar uma abordagem multidisciplinar e visar sempre a sustentabilidade dos ecossistemas.

A grande maioria dos sistemas técnicos considera o solo como elemento fundamental na avaliação do potencial de uso das terras. Tanto que as informações básicas utilizadas por estes sistemas são oriundas dos levantamentos de solos. De acordo com DENT & YOUNG (1993) e RAMALHO FILHO & PEREIRA (1999) as classificações técnicas são importantes porque tornam os resultados dos levantamentos pedológicos úteis e acessíveis para os diferentes tipos de atividades humanas.

No Brasil, os sistemas de classificação técnica mais difundidos são o sistema de capacidade de uso das terras (LEPSCH et al., 1991) e o sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras (RAMALHO FILHO & BEEK, 1995), ambos direcionados ao uso agrícola das terras. O primeiro foi desenvolvido a partir do sistema americano (KLINGEBIEL & MONTGOMERY, 1961), enquanto o segundo teve como base o sistema da FAO (FAO, 1976). De acordo com RAMALHO FILHO & PEREIRA (1999), o sistema que melhor se adapta as condições sócio - econômicas - ambientais do Brasil é o sistema de avaliação da aptidão de uso das terras, por considerar três níveis de manejo, que vão desde a ausência de capital e tecnologia até condições avançadas de manejo das terras, e por considerar aspectos econômicos e sociais referente a região onde se realiza a avaliação.

No entanto, não foi encontrado na literatura nenhum sistema de avaliação das terras direcionado às suas potencialidades de uso urbano, descarte de resíduos, industriais, entre

outros usos não agrícolas. O aumento da aglomeração humana nos centros urbanos, nas últimas décadas, e a conseqüente degradação ambiental pelo uso descontrolado dos recursos naturais, produção de resíduos e expansão das áreas construídas, têm provocado problemas relacionados à utilização de terras acima de sua capacidade de suporte (STROGANOVA & AGARKOVA, 1993; PEREIRA, 2002; PEDRON et al., 2004a). Neste sentido, existe uma carência muito grande de um sistema de classificação técnica que considere não somente o uso agrícola das terras, mas também outros tipos de utilização, de maneira que essas possam ser classificadas de acordo com seu potencial, evitando assim sua utilização inadequada.

1.6. CONCLUSÕES

Fica evidente a necessidade de informações sobre diversos aspectos ecológicos do ambiente urbano, bem como, uma abordagem multidisciplinar dos problemas existentes. Considerando todos os efeitos negativos da expansão urbana sem planejamento sobre os recursos naturais, percebe-se a importância de ações práticas que subsidiem essa expansão de forma mais próxima da sustentabilidade possível. Neste sentido, o levantamento e a classificação das terras urbanas devem ser considerados instrumentos básicos para o planejamento desses ambientes.

Outro fato que merece destaque é a carência e ausência de sistemas de classificação das terras no Brasil que contemplem os espaços urbanos. Sabendo da importância dessas áreas na qualidade de vida humana, é imprescindível que haja ferramentas que possibilitem a determinação do seu potencial de uso, visando o desenvolvimento urbano adequado em termos ambientais e sociais. O próprio SiBCS deveria contemplar em algum nível categórico os solos antrópicos e urbanos, assim como, sistemas técnicos que apresentem grupos de uso urbano deveriam ser difundidos e disponibilizados para uso das prefeituras e instituições de pesquisa, buscando a adequação de uso das terras e melhor qualidade de vida nas cidades e seu entorno.

CAPÍTULO 2

Estudo 1

SISTEMA DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO URBANO DAS TERRAS (SAPUT) - 1ª aproximação

2. SISTEMA DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO URBANO DAS TERRAS (SAPUT) - 1ª aproximação

2.1. INTRODUÇÃO

A interpretação dos levantamentos de solos é de fundamental importância para a utilização adequada desse recurso natural. Os sistemas de classificação técnica ou interpretativa são ferramentas que se propõem a esta finalidade, onde as terras são arrançadas de acordo com objetivos de interesse prático e específico, relacionados com seu comportamento, visando o agrupamento de classes homogêneas, definidas pela sua máxima capacidade de uso, sem riscos de degradação dos recursos naturais (FAO, 1976; LEPSCH et al., 1991; RAMALHO FILHO & BEEK, 1995; RAMALHO FILHO & PEREIRA, 1999).

Os sistemas de classificação técnica mais difundidos no Brasil são o sistema de capacidade de uso das terras (LEPSCH et al., 1991), e o sistema de aptidão agrícola das terras (RAMALHO FILHO & BEEK, 1995). Estes sistemas possuem estruturas baseadas nos sistemas americano (KLINGEBIEL & MONTGOMERY, 1961) e da FAO (FAO, 1976) respectivamente, adaptadas as condições brasileiras, sendo ambos desenvolvidos para avaliação do uso agrícola das terras.

A intensificação das atividades humanas em áreas urbanizadas tem gerado uma grande demanda por matérias primas e bens de consumo, ocasionando a produção de grandes volumes de rejeitos dos mais variados tipos, os quais, tem provocado, freqüentemente, diversas alterações resultando na deterioração do ambiente (STROGANOVA & AGARKOVA, 1993; PEREIRA, 2002; PEDRON et al., 2004a). A grande concentração humana em pequenas áreas aumenta as pressões sobre os recursos naturais, causando enormes degradações. Estas áreas têm aumentado descontroladamente formando aglomerações urbanas cada vez menos aptas a sustentarem propriedades necessárias a um ambiente adequado (DA COSTA & CINTRA, 1999; EL ARABY, 2002; MILLER & SMALL, 2003).

Nesse sentido, ao mesmo tempo em que a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo discute o papel do pedólogo e sua importância na Ciência do Solo (SBCS, 1999), existem carências relacionadas à área de pedologia, como por exemplo, o mapeamento e classificação dos solos ocorrentes nos milhares de hectares sob uso urbano, assim como os que estão sujeitos a serem tomados pela expansão urbana no Brasil. Outra lacuna na Ciência do Solo é a disponibilidade de um sistema de classificação técnica que considere não somente o uso agrícola das terras, mas também outros tipos de utilização não agrícola, de maneira que essas

possam ser classificadas e posteriormente manejadas de acordo com o seu potencial, evitando assim sua utilização incorreta.

Dessa forma, esse trabalho objetivou propor um sistema de classificação interpretativo de análise do potencial de uso urbano das terras para diferentes grupos de usos, como descarte de resíduos, construções urbanas, agricultura urbana e preservação ambiental, visando a sustentabilidade na utilização desses recursos, para que instituições públicas e privadas, sejam elas municipais, estaduais ou federais, tenham uma ferramenta que lhes permitam melhor gerenciar e planejar seus recursos naturais.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

O Sistema de Avaliação do Potencial de uso Urbano das Terras (SAPUT) é baseado nas orientações existentes na metodologia da FAO (1976), LEPSCH et al. (1991) e RAMALHO FILHO & BEEK (1995). Assim, faz uso das informações geradas nos levantamentos sistemáticos de solos, juntamente com dados dos diferentes atributos das terras. Nesse contexto, o termo terra compreende todos os elementos do ecossistema como solos, relevo, clima, vegetação, hidrologia, entre outros, bem como, suas relações ambientais, satisfazendo a conceituação aplicada pela FAO (1976).

O sistema aqui proposto destina-se a atender a conservação das terras, no sentido de sua melhor utilização, minimizando riscos de depauperamento do ambiente natural. Assim como na metodologia apresentada por LEPSCH et al. (1991), o SAPUT considera somente um nível de manejo das terras, sendo este avançado ou desenvolvido, com aplicação de recursos tecnológicos e econômicos compatíveis com as necessidades de cada empreendimento a fim de evitar danos ambientais e sociais no momento da classificação das terras. Nesse caso, desenvolvimento tecnológico futuro pode tornar adequada uma área que anteriormente fora inadequada a um determinado tipo de utilização. Para tanto, o sistema considera primeiramente as legislações ambientais em vigência no âmbito federal (podendo ser adaptado para as legislações estaduais e municipais) e em seguida características e propriedades das terras, as quais são importantes na manutenção do equilíbrio natural.

Estas diferentes características e propriedades constituem-se nos fatores limitantes ao uso das terras, os quais determinarão a classe de uso de cada gleba de terra. De acordo com LEPSCH et al. (1991), características são todos os parâmetros diretamente mensuráveis, como a textura, cor, estrutura, porosidade, etc., enquanto propriedades são combinações de duas ou

mais características das terras que implicam em um determinado comportamento frente às pressões ambientais, como, por exemplo, a suscetibilidade a erosão e a fertilidade.

O sistema proposto idealiza a avaliação do potencial de quatro tipos de uso das terras, sendo eles: descarte de resíduos, construções urbanas, agricultura urbana e preservação ambiental. O sistema é estruturado em quatro níveis categóricos assim hierarquicamente distribuídos: grupos de uso das terras, subgrupos de uso, fatores restritivos ao uso e classes de uso (Figura 1). O grupo de uso das terras “preservação ambiental” é regulamentado pelo Código Florestal Federal (BRASIL, 1965), Resolução nº 303, referente as “Áreas de Preservação Permanente” (CONAMA, 2002) e pelas diferentes restrições que venham a tornar uma área inadequada para qualquer outro tipo de uso. Os demais grupos são ordenados nas suas devidas classes de acordo com os inúmeros fatores restritivos que compõem o 3º nível categórico do sistema.

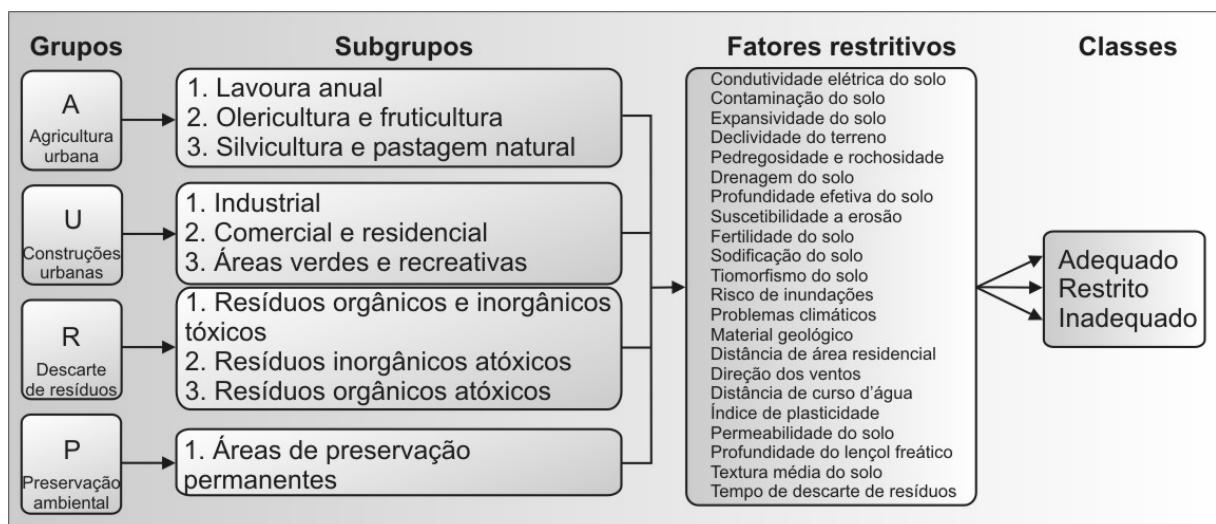


Figura 1. Organograma do SAPUT.

Os fatores restritivos utilizados foram adaptados de MACIEL FILHO (1990), LEPSCH, et al. (1991), FEPAM (1995), RAMALHO FILHO & BEEK (1995), KELLER (1996), ABNT (1997), DA COSTA & CINTRA (1999), D'ALMEIDA & VILHENA (2000), DAI et al. (2001), FREITAS et al. (2001), CALIJURI et al. (2002), CASCO et al. (2002) e SBCS (2004). Os diferentes grupos de uso das terras apresentam parâmetros específicos e independentes, os quais são utilizados para determinação das classes de uso, que por sua vez estão relacionados com as características e propriedades necessárias para a utilização da terra sem riscos de degradação.

Esta organização é estruturada em parâmetros pedológicos e ambientais. Os parâmetros pedológicos são aqueles importantes quanto ao comportamento do solo em reação a determinadas ações antrópicas e os parâmetros ambientais são a compilação de importantes aspectos do ambiente onde os solos estão inseridos. Tais informações são encontradas nos levantamentos de solos e em levantamentos do meio físico donde o sistema será aplicado. Cabe ressaltar que este sistema destina-se a orientação referente ao potencial das terras para diferentes tipos de usos, não pretendendo, no entanto, servir de guia preciso na obtenção de tais informações. Assim, o SAPUT aponta a melhor forma de utilização das terras urbanas, sem proibir seu uso com determinada atividade visto que avanços tecnológicos podem habilitar uma área inadequada a um uso específico com baixos riscos ao ambiente.

O sistema pretende ser acessível a profissionais sem a formação direta em pedologia, permitindo sua utilização de maneira adequada. A sua organização simples procura possibilitar uma melhor compreensão e eficiência de uso por profissionais que estão ativamente coordenando e desenvolvendo atividades no ambiente urbano.

2.3. RESULTADOS

Os quatro grupos de utilização e seus diferentes subgrupos de uso (Quadro 1) são classificados de acordo com seu nível de adequação em diferentes classes (Tabela 1), conforme os diversos fatores restritivos considerados em cada grupo de utilização das terras.

Quadro 1. Grupos e subgrupos de utilização das terras.

Grupos de utilização das terras	Subgrupos de utilização das terras		
	► Aumento do risco de degradação das terras ►		
Preservação ambiental	Área de preservação permanente		
Descarte de resíduos	Resíduos orgânicos atóxicos	Resíduos inorgânicos atóxicos	Resíduos orgânicos e inorgânicos tóxicos
Construções urbanas	Áreas verdes e recreativas	Comercial e residencial	Industrial
Agricultura urbana	Silvicultura e/ou pastagem natural	Olericultura e fruticultura	Lavoura anual
	3	2	1

O SAPUT propõem três subgrupos para cada grupo de utilização, exceto o grupo preservação ambiental, o qual possui somente um subgrupo. Cada subgrupo é representado

por um número, variando de “1” a “3”, o qual indica a adequação de uso da terra, inclusive, nos subgrupos maiores, onde os graus de limitações ao uso são menores.

Em relação ao grupo preservação ambiental, uma determinada área, quando classificada como área de preservação permanente será automaticamente considerada inadequada para os demais tipos de uso, conforme prevêm as leis ambientais. Outro caso é quando qualquer área apresentar inadequação de uso para outro tipo de utilização devido a limitações como, por exemplo, afloramento rochoso, sendo então classificadas como área destinada à preservação ambiental.

Tabela 1. Simbologia referente às classes de uso em relação aos grupos de utilização das terras.

Classes de uso	Grupos de utilização das terras			
	Descarte de resíduos	Construções urbanas	Agricultura urbana	Preservação ambiental
Adequado	R	U	A	P
Restrito	r	u	a	-
Inadequado	-	-	-	-

A descrição dos grupos e subgrupos de utilização das terras são apresentadas a seguir:

Grupo Descarte de Resíduos: neste grupo, as áreas são indicadas para descarte de diferentes tipos de resíduos, oferecendo riscos mínimos à degradação do ambiente.

1. Resíduos orgânicos e inorgânicos tóxicos: são áreas que não apresentam problemas para o descarte de materiais poluentes. Em geral são solos profundos, com baixa permeabilidade, ausência de lençol freático, com alta capacidade de retenção de substâncias perigosas (alta CTC, altos teores de matéria orgânica), não sujeitos a inundação, sob terrenos praticamente planos.

2. Resíduos inorgânicos atóxicos: são áreas que apresentam limitações ao descarte de materiais tóxicos, mas que podem ser utilizadas para o depósito de materiais inorgânicos atóxicos. As principais restrições ao subgrupo anterior são devido a menor profundidade do solo, presença de lençol freático, menor CTC e maior permeabilidade do solo e maior declividade do terreno.

3. Resíduos orgânicos atóxicos: são áreas que apresentam limitações ao descarte de resíduos tóxicos e alguns riscos em relação aos materiais inorgânicos atóxicos. As limitações são as mesmas anteriores, porém, com agravamento dos fatores que permitiriam a degradação dos recursos naturais.

Grupo Construções Urbanas: são áreas aptas para construções civis em geral, as quais vão desde unidades residenciais, comerciais, industriais, até rodovias e demais obras de engenharia. Seu uso deve ser cuidadoso, pois problemas como contaminação dos solos e águas pela geração de esgotos e ou resíduos industriais tóxicos podem ocorrer.

1. Industrial: são áreas que possuem maior potencial de suporte a atividades industriais de pequeno a grande porte, minimizando os riscos de degradação dos solos e do meio ambiente. Possuem boa capacidade de retenção de substâncias potencialmente poluentes, relevo plano a suave ondulado, solo bem drenado e profundo e lençol freático no mínimo a 2 m de profundidade, suportando tráfego intenso de equipamentos pesados e trabalhos com substâncias perigosas.

2. Residencial e/ou comercial: áreas que apresentam algumas limitações quanto ao uso urbano, mas que, no entanto, com a utilização de tecnologia e manejo adequado pode viabilizar o seu uso residencial e/ ou comercial considerando sua menor densidade. As principais limitações desse subgrupo estão relacionadas com a profundidade e textura dos solos, rochiosidade e pedregosidade, drenagem, declividade do terreno, expansividade dos solos, suscetibilidade a inundações e material geológico.

3. Áreas verdes e recreativas: são áreas que apresentam limitações ao uso para construção civil, porém, podem muito bem serem utilizadas para o estabelecimento de áreas verdes e recreativas como áreas esportivas, jardins botânicos, parques infantis e outros tipos de áreas de lazer. As limitações ao uso nesse subgrupo são referentes à declividade, drenagem, suscetibilidade a inundações, rochiosidade e profundidade dos solos. A diferença desse subgrupo para o grupo Preservação ambiental está relacionada à intensidade de uso e geração de resíduos pelas atividades humanas.

Grupo Agricultura Urbana: são áreas urbanas e suburbanas usadas para produção de alimentos, produtos vegetais e ou criação de animais, cujas principais limitações referem-se à contaminação dos solos, águas e ar pela utilização de agroquímicos ou criações animais. Por isso estas áreas devem apresentar solo profundo e bem drenado, relevo plano a suave ondulado, baixa suscetibilidade a erosão e distância mínima de áreas residenciais.

1. Lavoura anual: são áreas que não apresentam maiores problemas de degradação dos solos e do ambiente quando utilizadas para o cultivo de espécies anuais. As diversas limitações ocasionalmente apresentadas podem ser sanadas com o devido manejo, ou seja, eventuais problemas como erosão, fertilidade, excesso d'água, entre outros, podem ser resolvidos sem maiores dificuldades. São áreas relativamente afastadas de loteamentos residenciais e

comerciais, não oferecendo riscos nos casos de aplicação de agroquímicos, nem inconveniência devido ao mau cheiro e proliferação de insetos provenientes das criações animais.

2. Olericultura e fruticultura: são áreas que apresentam maiores limitações ao uso, tornando-se inadequadas às lavouras anuais. Suas maiores limitações são referentes ao uso intenso de agroquímicos por apresentarem material geológico do tipo aquífero e distância de áreas urbanas menor que o estabelecido por lei, também devido à declividade do terreno, erosão mais acentuada, pedregosidade e rochosidade, as quais permitiriam, com manejo específico, sem a intensidade do subgrupo anterior, a introdução de espécies olerícolas e frutíferas, utilizando-se um sistema de produção mais simples que aqueles utilizados para lavouras anuais.

3. Silvicultura e/ou pastagem natural: são áreas que apresentam severas limitações ao uso, sendo altamente suscetíveis ao depauperamento. Somente culturas perenes protetoras do solo poderiam ser utilizadas. As principais limitações estão relacionadas com a declividade acentuada, solo raso, pedregosidade, impedindo a mecanização e contaminação do solo.

Grupo Preservação Ambiental: são áreas destinadas a conservação da fauna e flora, assim como os demais elementos naturais que constituem os ecossistemas locais. São áreas de extrema importância na manutenção do equilíbrio ambiental, principalmente em espaços urbanos.

1. Área de preservação permanente: são áreas regulamentadas pela legislação federal, estadual e ou municipal, além de áreas que apresentam inadequação de uso para os demais grupos, como por exemplo, áreas sujeitas a inundações ou com alto percentual de rochosidade e ou pedregosidade.

A classificação das terras no SAPUT deve ser efetuada através da análise das características e propriedades morfológicas, físicas e químicas do solo e do ambiente. Dentro dos grupos, o enquadramento das terras é realizado pela análise das informações obtidas e comparação com as características de cada subgrupo, determinando-se aquele compatível com a situação das terras. A obtenção da classe de uso é efetuada através da análise dos fatores restritivos ao uso (Quadros 2, 3, 4 e 5).

Quadro 2. Simbologia, descrição e fonte dos fatores restritivos considerados pelo sistema.

Símbolo	Fator limitante	Descrição	Fonte
ce	Condutividade elétrica do solo	Está relacionada com a presença em excesso de sais solúveis que impedem o desenvolvimento vegetal e afetam obras civis.	Lepsch et al. (1991); Ramalho Filho & Beek (1995).
c	Capacidade de Troca de Cátions	A CTC está relacionada com o potencial do solo de reter elementos e substâncias orgânicas e inorgânicas.	Ramalho Filho & Beek (1995); SBSC (2004).
d	Declividade do terreno	Representa a inclinação do terreno em relação a um plano horizontal, influenciando no potencial de erosão e uso de mecanização.	Ramalho Filho & Beek (1995); Keller (1996); Da Costa & Cintra (1999).
v	Direção dos ventos	Caracteriza a dinâmica dos ventos durante o ano em relação a localização do centro urbano. Está relacionada com o transporte de odores de aterros sanitários.	Fepam.
u	Distância da área urbana	Determina a distância de um aterro sanitário do centro urbano, e a distância mínima para aplicação de produtos fitossanitários. Quando muito próximo, apresenta problemas sociais e sanitários.	ABNT (1997); D'almeida & Vilhena (2000).
a	Distância de cursos d'água	Representa a distância que atividades potencialmente poluidoras estão instaladas em relação aos cursos d'água.	Fepam (1995); ABNT (1997); Calijuri et al. (2002).
dr	Drenagem do solo	Esta relacionada ao comportamento hídrico do solo, capacidade do solo de drenar a água do seu perfil. Influencia na falta de oxigênio, no transporte de elementos e substâncias através do perfil.	Keller (1996).
e	Erosão	É a perda de solo pela ação do vento ou da água. Esta relacionada com diversas características do solo.	Ramalho Filho & Beek (1995).
ex	Expansividade do solo	Caracteriza a presença e a quantidade de argilas expansivas no perfil de solo. Está relacionada com o potencial de expansão e contração do solo.	Maciel Filho (1990); Keller (1996).
f	Fertilidade	É uma propriedade dos solos relacionada com seu potencial de suprir as necessidades fisiológicas das plantas.	Ramalho Filho & Beek (1995); SBSC (2004).
ip	Índice de plasticidade	Indica a faixa de umidade na qual o solo apresenta plasticidade. Afeta a capacidade do solo de sustentação a obras civis.	Keller (1996); D'almeida & Vilhena (2000).
g	Material geológico	Representa o tipo de material de origem sob a camada pedológica. Relaciona-se com a presença e o potencial de contaminação de aquíferos.	Maciel Filho (1990); Fepam (1995).
p	Pedregosidade	Refere-se à presença de pedras na superfície do solo, influenciando a mecanização e a implantação de diversas atividades antrópicas.	Keller (1996).
pm	Permeabilidade do solo	Indica a velocidade com que a água infiltra no solo. Está relacionada com o potencial de contaminação de aquíferos.	ABNT (1997).
pc	Problemas climáticos	Refere-se a eventos climáticos que podem prejudicar as atividades agrícolas.	Lepsch et al. (1991).
ps	Profundidade do solo	É a profundidade do solo desde a superfície até o topo da rocha.	Keller (1996).
pe	Profundidade efetiva do solo	É a espessura de solo desde a superfície ocupada pelas raízes das plantas. Determina a espessura de solo capaz de prover condições ideais ao desenvolvimento radical.	Lepsch et al. (1991).
l	Profundidade do lençol freático	Indica a distância do lençol freático da superfície, afetando o potencial de contaminação das águas subterrâneas.	D'almeida & Vilhena (2000); Dai et al. (2001)
i	Risco de inundações	Refere-se à possibilidade de haver inundações em uma determinada área.	Keller (1996).

Quadro 2. Continuação...

r	Rochosidade	Caracteriza a presença de afloramentos rochosos na área, afetando as atividades antrópicas.	Lepsch et al. (1991); Keller (1996).
td	Tempo de descarte	Caracteriza o tempo mínimo de descarte de resíduos em uma determinada área.	Fepam.
t	Textura do solo	É a composição granulométrica do solo, afeta diversas propriedades como retenção de nutrientes, água e fragilidade a erosão.	Fepam.

Quadro 3. Fatores restritivos referentes ao grupo de uso descarte de resíduos.

Fatores de restrições	Classes de uso		
	Adequada	Restrita	Inadequada
Rochosidade do solo	< 5 %	entre 5 e 10 %	> 10 %
Profundidade do solo	> 2 m	entre 1 m e 2 m	< 1 m
Textura dos solos	> 40 % de argila	entre 25 e 40%	< 25 %
CTC _{pH7} do solo	> 12 cmol _c kg ⁻¹	6 – 12 cmol _c kg ⁻¹	< 6 cmol _c kg ⁻¹
Permeabilidade do solo	< 10 ⁻⁶ cm s ⁻¹	10 ⁻⁵ cm s ⁻¹	> 10 ⁻⁴ cm s ⁻¹
Distância dos cursos d'água	> 200 m	-	< 200 m
Declividade do terreno	0 – 13 %	13 – 25 %	> 25 %
Material geológico ¹	aquicludo	aquitardo	aquífero
Risco de inundações	sem inundações	-	inundações freqüentes
Direção dos ventos	cidade para o aterro todo ano	aterro - cidade menos de 6 meses	aterro – cidade mais de 6 meses
Profundidade do lençol freático	> 2 m	entre 2 m e 1,5 m	< 1,5 m
Tempo de descarte*	> 5 anos	entre 5 e 4 anos	< 4 anos
Distância de áreas urbanas	> 2 km e < 15 km	-	< 2 km e > 15 km
Drenagem do solo	bem drenado	imperfeitamente drenado	mal drenado

* Tempo mínimo de descarte necessário para tornar o aterro viável economicamente.

A suscetibilidade a erosão (SE) em áreas de uso para construções urbanas e uso para agricultura urbana é uma propriedade pedológica determinada por características do solo e do ambiente. De acordo com RAMALHO FILHO & BEEK (1995), terras com SE alta ocorrem em relevo forte ondulado, com declividades acima de 20 %, apresentando textura superficial arenosa e subsuperficial argilosa, com baixa permeabilidade no horizonte B e pouca cobertura vegetal. No caso da SE média, as terras ocorrem em relevo suave ondulado a ondulado, com declividades de 3 a 20 %, podendo ou não apresentar textura superficial arenosa e subsuperficial argilosa. A SE baixa consiste de áreas que ocorrem em relevo praticamente

¹ Aquicludo: quando o material de origem é impermeável; Aquitardo: quando o material de origem é semi-permeável, podendo armazenar e transmitir água, porém, de forma muito lenta; Aquífero: quando o material de origem é permeável, armazenando e transmitindo água (MACIEL FILHO, 1990).

plano, com 0 a 3 % de declividade, com solos sem mudança textural, com horizontes superficiais de textura média a argilosa, com boa permeabilidade e boa cobertura vegetal.

Quadro 4. Fatores restritivos referentes ao grupo de uso construções urbanas.

Fatores de restrições	Classes de uso		
	Adequada	Restrita	Inadequada
Profundidade do solo	> 1,5 m	1,0 - 1,5 m	< 1,0 m
Expansividade do solo	solo não expansivo	1 – 3 % de expansão	> 3 % de expansão
Índice de plasticidade do solo	entre 5 e 35 %	-	< 5 % e >35 %
Rochosidade do solo	0 – 5 %	5 – 40%	> 40 %
Pedregosidade do solo	0 – 15 %	15 – 50 %	> 50 %
Drenagem do solo	bem drenado	imperfeitamente drenado	mal a muito mal drenado
Suscetibilidade a erosão do solo	Baixa	média	alta
Declividade do terreno	2 – 10 %	10 – 20 %	> 20 %
Material geológico	aquicludo	aquitardo	Aquífero*
Risco de inundações	sem inundações	-	inundações freqüentes

* A condição de aquífero pode permitir o uso das terras para construções urbanas no subgrupo 3, desde que o solo apresente pelo menos 50 cm de material mineral com teor de argila acima de 40 %.

Quadro 5. Fatores restritivos referentes ao grupo de uso agricultura urbana.

Fatores de restrições	Classes de uso		
	Adequada	Restrita	Inadequada
Pedregosidade do solo	0 – 15 %	15 – 40 %	> 40 %
Rochosidade do solo	0 – 15 %	15 – 40 %	> 40 %
Drenagem do solo	bem drenado	imperfeitamente drenado	mal a muito mal drenado
Profundidade efetiva do solo	> 0,75 m	0,25 – 0,75 m	< 0,25 m
Condutividade elétrica (25° C)	< 2 mmho/cm	entre 2 e 15 mmho/cm	> 15 mmho/cm
Suscetibilidade a erosão do solo	baixa	média	alta
Fertilidade do solo	alta	média a baixa	-
Argilas expansivas no solo*	baixa	alta	muito alta
Contaminação do solo	ausente	-	existente
Risco de inundações	sem inundações	-	inundações freqüentes
Declividade do terreno	0 – 8 %	8 – 30 %	> 30 %
Problemas climáticos	fraco	moderado	forte
Distância de área residencial	maior que 500 m	entre 300 e 500 m	menor que 300 m

* Argilas expansivas no solo: baixa - o teor de argilas expansivas não atrapalha o preparo do solo quando seco ou úmido; alta - o teor de argilas expansivas dificulta e reduz drasticamente o tempo de preparo do solo devido ao excesso ou falta de umidade; Muito alta - o teor de argilas expansivas impede o preparo do solo.

A fertilidade é determinada por diversas características do solo. De acordo com RAMALHO FILHO & BEEK (1995), solos com alta fertilidade apresentam elevadas reservas de nutrientes, mais de 80 % de saturação por bases, CTC maior que $15 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, soma de bases acima de $6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo, livres de alumínio trocável e com teores de cálcio acima de $4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo e magnésio maior que $1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo. Solos com média a baixa fertilidade possuem limitada reserva de nutrientes as plantas, podendo apresentar teores de cálcio menor que $4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo, magnésio abaixo de $1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de solo, CTC menor que $15 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, teores baixos de fósforo e potássio e saturação por alumínio acima de 10 % (SBCS, 2004).

Os problemas relacionados ao clima devem ser considerados, pois afetam as condições para o desenvolvimento vegetal adequado. De acordo com LEPSCH et al. (1991), terras com problemas fortes possuem ocorrências freqüentes de secas prolongadas ou excesso de chuvas em uma ou mais estações do ano, geadas fortes, quedas de granizo e ventos fortes, a ponto de inviabilizar a produção de alimentos. As terras com problemas moderados podem apresentar os mesmos eventos citados acima, porém, em menor freqüência, permitindo a exploração agrícola sem maiores prejuízos. Já as terras com menores problemas em relação ao clima, apresentam condições hídricas, de temperatura e radiação solar adequados para a produção agrícola, não apresentando eventos de intensidade suficientes para prejudicar a produção.

O SAPUT considera somente as limitações ao uso que permanecem após o melhoramento das terras. Todas as restrições apresentadas, as quais podem ser melhoradas com aplicação de tecnologia e capital compatível com as necessidades de cada empreendimento segundo normas técnicas, devem ser desconsideradas na determinação da classe de uso da terra. Por exemplo, casos de limitações como fertilidade do solo, suscetibilidade a erosão em áreas pouco declivosas, outros casos de excesso de água, onde pode-se solucionar o problema sem maiores dificuldades, através de práticas de manejo adequadas. Assim, terras que apresentem limitações desse tipo podem ser classificadas como adequadas e não restritas ou inadequadas a um determinado uso.

A classificação das terras no SAPUT é representada nos mapas através de símbolos, sendo o mesmo composto pela letra referente ao grupo de uso, conforme a classe de uso, precedido pelo número correspondente ao subgrupo de uso, aparecendo ainda os símbolos alfabéticos dos fatores restritivos que indicarem condição restrita. Os diferentes grupos são separados por uma barra, enquanto os fatores restritivos utilizados são dispostos entre parênteses, conforme a Tabela 2. Percebe-se que a simbologia referente ao grupo Preservação Ambiental não aparece na fórmula por razões práticas, visto que todas as terras apresentarão

aptidão para tal grupo, ficando a sua utilização restrita as áreas de preservação permanentes ou aquelas que não apresentam potencial para os demais grupos de uso.

Neste sistema, novos grupos, subgrupos e subclasses de uso das terras podem ser criados, substituídos ou adequados, permitindo maior dinamicidade e capacidade de ordenamento dos diferentes ambientes.

Considerando o volume de informações, sobre o recurso solo e sobre o seu ambiente de inserção, necessárias para o correto enquadramento nesse sistema, é recomendado que o mesmo seja utilizado na interpretação de levantamentos de solos semidetalhados. A representação cartográfica das informações geradas para os quatro grupos de uso é efetuada sobre um mapa único, minimizando custos (RAMALHO FILHO & BEEK, 1995) e facilitando o manuseio das informações referentes aos diferentes usos da terra.

Tabela 2. Exemplos de uso da simbologia do SAPUT.

Simbologia	Descrição
2r_(d,ps)/2u_(r,ps)/ 2a_(r,ps)	Terras restritas para descartes de resíduos no subgrupo 2 (materiais inorgânicos atóxicos) devido a restrições como declividade e profundidade do solo. Apresentam uso para construções urbanas restrito no subgrupo residencial e comercial, com restrições quanto a rochosidade e profundidade do solo. Terras pertencentes à classe restrita para uso com agricultura urbana no subgrupo olericultura e fruticultura, com restrições quanto a rochosidade e profundidade do solo. Áreas adequadas para preservação ambiental.
1P	Terras adequadas para preservação ambiental como áreas de preservação permanente. Tais terras poderiam apresentar potencial para outro grupo de utilização, no entanto foram automaticamente classificados como áreas de preservação permanente de acordo com a legislação vigente.
3u_(i, d, dr)	Terras que apresentam restrições ao uso urbano, com potencial somente para áreas verdes e recreativas devido a limitações como suscetibilidade a inundações, declividade e drenagem. Áreas adequadas para preservação ambiental, sem restrições. São áreas consideradas inadequadas para os grupos descarte de resíduos e agricultura urbana.

2.4. CONCLUSÕES

O SAPUT é um sistema criado devido à falta de instrumentos que permitam a classificação técnica de recursos naturais existentes em áreas urbanas, as quais tem adquirido maior importância a cada dia. Em sua primeira aproximação o sistema mostra-se dinâmico e adaptável a diferentes situações, inclusive aberto para inclusão e ou exclusão de parâmetros utilizados nos fatores restritivos e até mesmo inclusão de novos grupos de uso.

Verificou-se uma certa carência de informações que sirvam de base para a sustentação do sistema. Neste sentido, novos estudos dirigidos à determinação de parâmetros mais adequados a distinção das terras quanto a sua capacidade de suporte ao uso urbano são fundamentais para a melhoria desse sistema.

CAPÍTULO 3

Estudo 2

**UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE
USO URBANO DAS TERRAS NO DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DO
MUNICÍPIO DE SANTA MARIA, RS**

3. UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO URBANO DAS TERRAS NO DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE SANTA MARIA, RS

3.1. INTRODUÇÃO

A conversão de uma sociedade rural para uma sociedade urbana, e suas implicações ambientais, tem transformado o mundo sob vários aspectos. Um deles é o aspecto ambiental, o qual tem sofrido forte pressão devido ao uso inadequado do espaço natural. A grande concentração humana em áreas cada vez mais alteradas, caracterizadas pela falta de estrutura e saneamento básico, tem provocado diversos problemas que afetam negativamente a qualidade de vida nos centros urbanos (CALLAI, 1993; ROSSATO, 1993; DA COSTA & CINTRA, 1999; EL ARABY, 2002).

Neste sentido, o fenômeno da expansão urbana acelerada torna-se um desafio para os pesquisadores, requerendo novos métodos de análise e fontes de dados e informações. O entendimento da dinâmica de crescimento urbano de uma região é imprescindível ao planejamento de ações construtivas que visam a organização destes ambientes. Para tanto, de acordo com MILLER & SMALL (2003), novas tecnologias e metodologias devem ser adotadas, capazes de simplificar a obtenção de informações, de forma rápida, eficiente e com menor gasto de recursos. O sensoriamento remoto e as técnicas de geoprocessamento são ferramentas adequadas quando associadas ao levantamento dos solos e determinação do potencial de uso das terras (FORMAGGIO, 1992; LOPES-ASSAD, 1995; ALVES et al., 2000; GODOY & LOPES-ASSAD, 2002).

De qualquer forma, tais ferramentas só possuem utilidade quando as diferentes informações sobre o ambiente estão disponíveis e são manejadas adequadamente. O levantamento dos recursos naturais como solos, material geológico, cobertura vegetal (uso das terras), recursos hídricos, clima e informações do relevo são fundamentais na gestão ambiental de um município (ALVES et al., 2000; SANTOS & KLAMT, 2004). No entanto, é comum o uso de materiais cartográficos pré-existentes com escalas não compatíveis com os objetivos propostos pelo trabalho (DALMOLIN et al., 2004). Tal fato é freqüente com mapas geológicos e de solos, devido ao alto custo de realização desses levantamentos.

Contudo, o solo é um recurso natural de suma importância na sustentação dos diversos ecossistemas (AZEVEDO, 2004), sendo o elemento chave na classificação do potencial de uso das terras (LEPSCH et al., 1991; DENT & YOUNG, 1993; RAMALHO FILHO &

BEEK, 1995; NASCIMENTO et al., 2004). O uso racional das terras, de modo sustentável, exige o conhecimento prévio de suas características e limitações, as quais são obtidas através dos levantamentos pedológicos e de aspectos do meio físico, gerando informações adequadas para a sua classificação.

O Sistema de Avaliação do Potencial de Uso Urbano das Terras (SAPUT) se propõem a analisar e classificar áreas urbanas e de expansão urbana quanto a sua capacidade de suportar determinada atividade humana com o depauperamento mínimo das terras. O SAPUT é estruturado em quatro grupos de usos, que são: descarte de resíduos, construções urbanas, agricultura urbana e preservação ambiental, os quais são agrupados em três classes de uso: adequada, restrita e inadequada. O sistema considera informações referentes a diversos elementos da paisagem como relevo, geologia, recursos hídricos, clima, vegetação e solos.

Com quase 150 anos de história, o município de Santa Maria apresenta uma população predominantemente urbana. De acordo com dados do IBGE (2000), a população urbana atual de Santa Maria é de 94,7 %. O crescimento da taxa de urbanização do município nas últimas décadas infere uma grande transformação nos ambientes urbano e rural. O crescimento da área urbana de Santa Maria sobre áreas rurais tem proporcionado efeitos negativos em relação aos recursos naturais, sendo freqüente a ocorrência de loteamentos em locais frágeis provocando a contaminação dos recursos hídricos, solos e destruição da vegetação nativa (ROBAINA et al., 2001. URRUTIA, 2002).

Assim, os objetivos deste trabalho foram: 1. realizar o levantamento semidetalhado de solos no perímetro urbano de Santa Maria, RS; 2. utilizar o SAPUT na avaliação do potencial de uso urbano das terras; e 3. determinar os conflitos de uso das terras na área de estudo, visando entender a dinâmica de uso atual do espaço físico e suas implicações ambientais.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no município de Santa Maria (SM), Rio Grande do Sul (RS), sobre a área do perímetro urbano - PUSM (área urbana e área de expansão urbana) desta cidade (SANTA MARIA, 2001), compreendendo 12.548 hectares (ha). SM localiza-se na região fisiográfica da Depressão Central, próxima à zona chamada de rebordo do Planalto, a 29° 43' de latitude sul e 53° 49' de longitude oeste (Figura 1). O clima local, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, com precipitação média anual de 1700 mm e temperatura média anual de 18° C, sendo a média das máximas do mês mais quente 32° C e das mínimas do mês mais frio de 9° C (BURIOL et al., 1979).

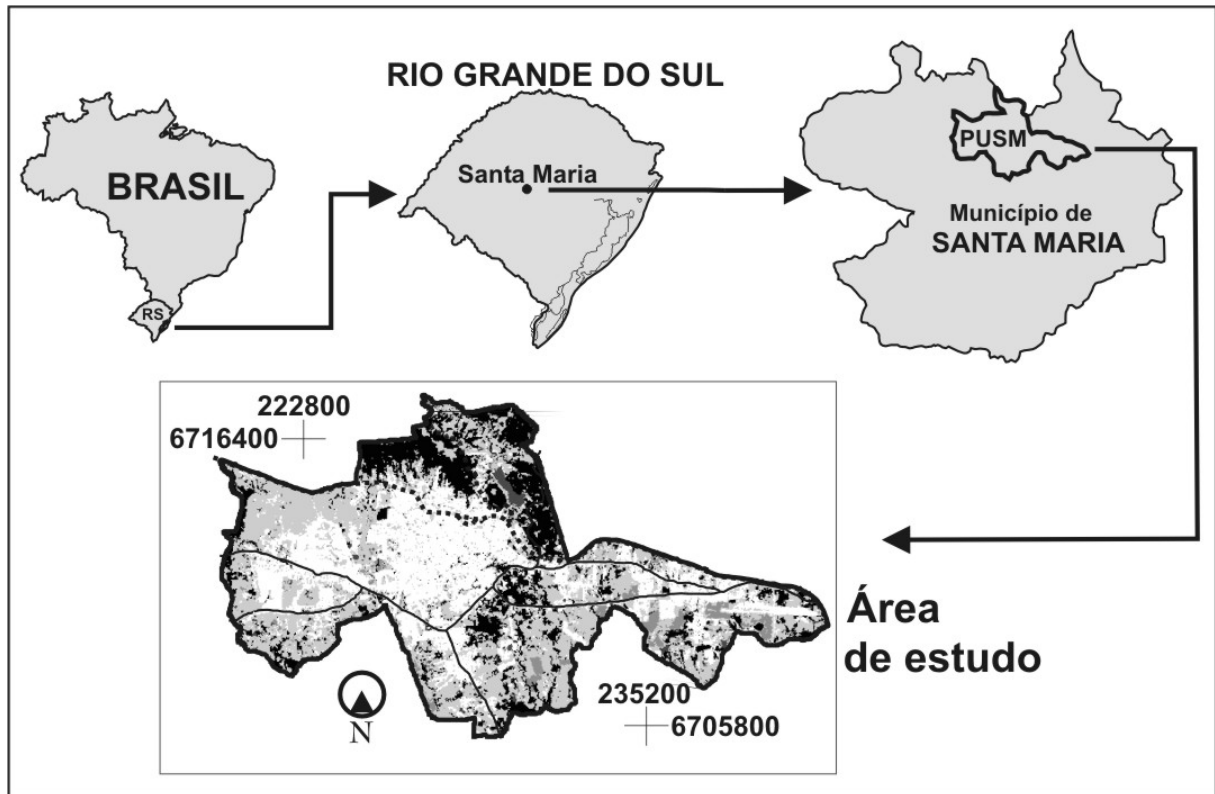


Figura 1. Esquema de localização e situação da área de estudo.

A avaliação do uso das terras e o diagnóstico ambiental foram efetuados através da produção e sobreposição de diferentes planos de informação (PI), conforme a Figura 2, gerando informações sobre o potencial de uso e identificando os conflitos ambientais na área de estudo. Os diversos PI considerados neste trabalho foram produzidos e gerenciados utilizando-se técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento digital, através do aplicativo Spring – Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (CAMARA et al., 1996), versão 4.0, desenvolvido pelo INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Inicialmente foi realizado o levantamento semidetalhado de solos da área de estudo, de acordo com os procedimentos da EMBRAPA (1995) e KLAMT et al., (2000). A descrição morfológica e coleta das amostras de solos foram efetuadas segundo LEMOS & SANTOS (2002), enquanto as análises químicas e físicas foram realizadas conforme metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). Os diferentes solos foram classificados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), sendo o mapa digital final gerado na escala 1:25.000 e denominado PI solo.

O PI geologia foi obtido pela digitalização das cartas geológicas de Camobi (MACIEL FILHO et al., 1988a) e Santa Maria (MACIEL FILHO et al., 19__), ambas na escala

1:50.000, e pelas observações de campo durante a execução do levantamento de solos. Os dados do relevo e da rede de drenagem foram extraídos das cartas topográficas produzidas pela Diretoria do Serviço Geográfico do exército - DSG, folhas de Camobi - SO e Santa Maria - SE, com curvas de nível apresentando distância vertical de 10 metros e escala 1:25.000. A partir dos dados do relevo foi produzido o PI declividades, dividido nas classes de 0 – 3 %, 3 – 8 %, 8 – 13 %, 13 – 20 %, 20 – 45 %, 45 – 100 % e acima de 100 %. Também com os dados do relevo foi gerado o PI topo de morro, através da ferramenta “extração de topos de morros” do aplicativo Spring, a qual permite a obtenção das áreas de preservação permanentes em morros conforme a legislação ambiental.

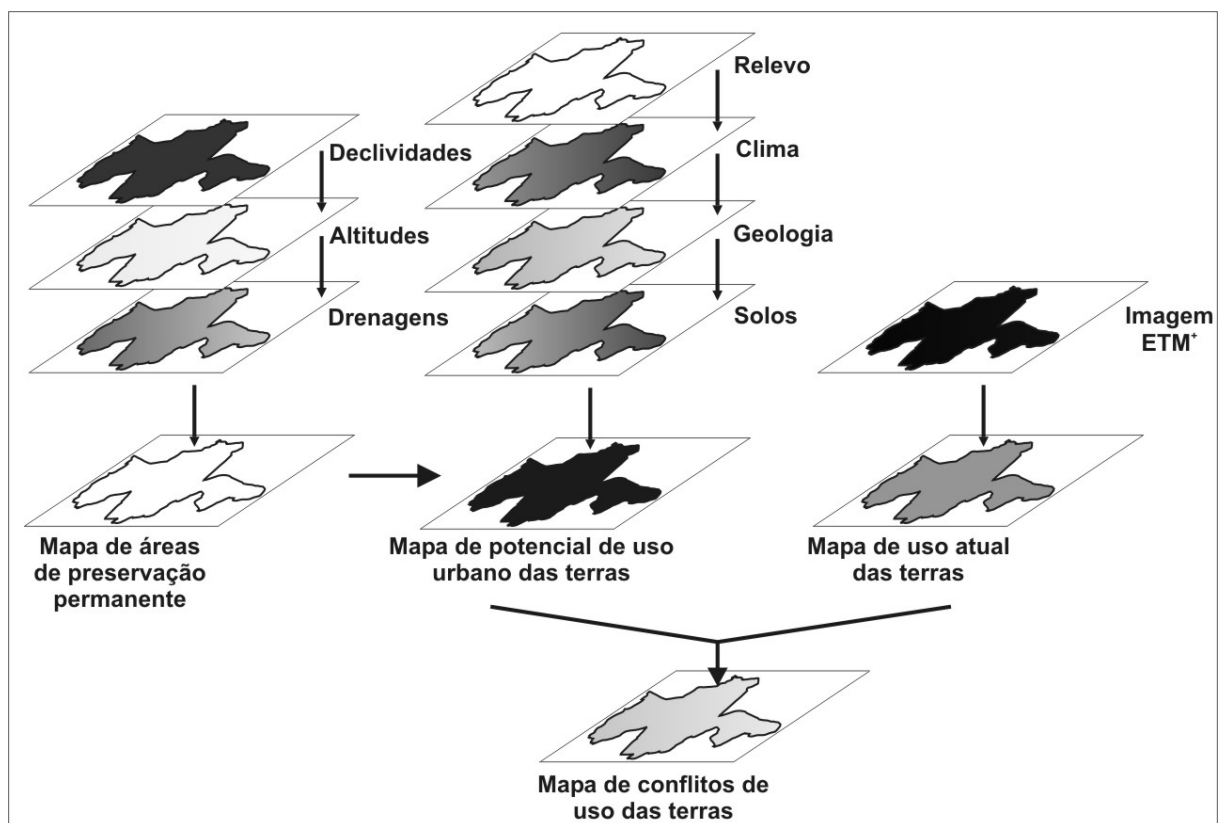


Figura 2. Fluxograma de execução dos trabalhos.

Com os dados da rede de drenagem foram produzidos os PI nascentes, *buffer 30 m* e *buffer 200 m* dos cursos d’água (zonas de segurança entorno dos cursos d’água que apresentam restrições de uso conforme legislação), através da ferramenta “mapa de distâncias” do Spring, a qual permite a extração de zonas com larguras especificadas (distâncias) em torno de um ou mais elementos do mapa, neste caso as nascentes d’água e a

rede de drenagem. Os PI nascentes e *buffer 30 m* foram gerados conforme CONAMA (2002), enquanto o PI *buffer 200 m* seguiu normas da ABNT (1997). O PI áreas de preservação permanente (APP) foi desenvolvido com base na Resolução nº 303 (CONAMA, 2002), a qual regulamenta a Lei Federal Nº 4.771 (BRASIL, 1965), através da sobreposição dos PI declividades, topo de morros, nascentes e *buffer 30 m*.

O mapa de potencial de uso urbano das terras foi gerado pelo “SAPUT”, método proposto no Capítulo 2. A constituição digital deste mapa foi resultado dos cruzamentos dos seguintes PI: solos, geologia, APP e *buffer 200 m*, associados a informações do clima, o qual não apresenta variações dentro da área de estudo.

O mapa de uso atual das terras foi gerado a partir da classificação multiespectral supervisionada da imagem do sensor ETM+ (Landsat 7), bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, do ano de 2002. O método de classificação utilizado foi o “pixel a pixel”, através do classificador estatístico “MAXVER” (máxima verossimilhança) (INPE, 2003), com desempenho médio acima de 95 %. Foram estabelecidas cinco classes de uso: urbano (todos os elementos artificiais característicos do meio urbano, assim como rodovias, e estradas municipais), floresta (nativa e plantada), agricultura anual (culturas anuais), campo natural (pastagens naturais e vegetação secundária) e corpos d’água (Arroios, córregos, lagos e barragens). Pequenos erros de classificação em que áreas de solo exposto (classe agricultura anual) foram classificadas na classe urbano, assim como áreas da classe floresta e urbano foram classificadas na classe corpos d’água, foram em partes corrigidos pela reambulação temática.

O mapa de conflitos de uso das terras para o PUSM foi gerado a partir do cruzamento dos mapas de potencial de uso urbano das terras e uso atual das terras, gerando dados numéricos e mapa que apresentam a situação ambiental de uso dos recursos naturais da área de estudo.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando a legenda dos solos e suas áreas, apresentadas na Tabela 1, bem como o mapa de solos (Figura 4), observa-se que as classes de solos predominantes na área de estudo são Alissolos (44 %), Argissolos (25 %), Neossolos (8 %) e Planossolos (23 %), visto que também ocorrem pequenas áreas de Cambissolos e Gleissolos, os quais foram registrados como inclusões e não unidades de mapeamento.

Tabela 1. Legenda das classes de solos do perímetro urbano de Santa Maria, RS.

Classes de solos	Símbolos	Áreas (ha)	Potencial de uso urbano dos solos
Alissolo Crômico argilúvico típico textura arenosa/média A chernozêmico relevo suave ondulado a ondulado	ACt 1	107	3u/2a
Alissolo Crômico argilúvico típico textura arenosa/argilosa A moderado relevo suave ondulado	ACt 2	280	3u/2a
Alissolo Crômico argilúvico abruptico textura arenosa/argilosa A moderado relevo suave ondulado	ACt 3	74	3u/2a
Alissolo Crômico argilúvico típico textura média/argilosa A proeminente relevo suave ondulado	ACt 4	362	3r/2u/1a
Alissolo Hipocrômico argilúvico abruptico textura arenosa/média A moderado relevo ondulado	APt 1	1751	3r/2u/2a
Alissolo Hipocrômico argilúvico típico textura média/argilosa A proeminente relevo suave ondulado	APt 2	1653	2r/2u/2a
Alissolo Hipocrômico argilúvico abruptico textura arenosa/média A fraco relevo suave ondulado	APt 3	7	3u/3a
Alissolo Hipocrômico argilúvico típico textura média/argilosa A moderado relevo suave ondulado a ondulado	APt 4	956	3u/2a
Alissolo Hipocrômico argilúvico abruptico textura arenosa/média A moderado relevo ondulado a forte ondulado	APt 5	76	3u/2a
Alissolo Hipocrômico argilúvico típico textura média/argilosa A proeminente relevo ondulado	APt 6	192	3u/2a
Argissolo Amarelo distrófico arênico textura arenosa/argilosa A moderado relevo suave ondulado	PAd	107	3r/2u/1a
Argissolo Vermelho – Amarelo distrófico arênico textura arenosa/argilosa A fraco relevo suave ondulado	PVAd 1	838	3u/2a
Argissolo Vermelho – Amarelo distrófico espessarênico textura arenosa/média A proeminente relevo suave ondulado	PVAd 2	1544	3u/2a
Argissolo Vermelho distrófico abruptico textura arenosa/argilosa A moderado relevo suave ondulado	PVd	627	3u/2a
Neossolo Regolítico eutrófico léptico textura média A chernozêmico relevo ondulado	RRe 1	120	3u/2a
Neossolo Regolítico eutrófico léptico textura arenosa a média A proeminente relevo suave ondulado a ondulado	RRe 2	40	3u/3a
Neossolo Regolítico psamítico léptico + Neossolo Litólico eutrófico típico relevo forte ondulado a escarpado	RRq + RLe	692	1P
Neossolo Regolítico psamítico léptico + Neossolo Litólico eutrófico típico relevo plano a suave ondulado	RRq + RLe p	80	3u/2a
Neossolo Flúvico psamítico típico textura arenosa A moderado relevo plano	RUq	36	3u/2a
Planossolo Hidromórfico distrófico típico textura arenosa/argilosa A proeminente relevo plano a suave ondulado	SGd 1	262	3u/2a
Planossolo Hidromórfico distrófico típico textura média A proeminente relevo plano a suave ondulado	SGd 2	37	3u/2a
Planossolo Hidromórfico distrófico arênico textura arenosa/média A proeminente relevo plano a suave ondulado	SGd 3	113	3u/2a
Planossolo Hidromórfico distrófico típico textura média A proeminente relevo plano	SGd 4	151	3u/2a
Planossolo Hidromórfico eutrófico típico textura média/argilosa A proeminente relevo plano	SGe	2363	3u/2a
Corpos d'água	-	80	-

As classes dos Alissolos e Argissolos juntas, compreendem 69 % da área. Essas classes, segundo STRECK et al. (2002) e PEDRON et al. (2004c, 2004d) são semelhantes no aspecto morfológico, caracterizando-se pelo horizonte superficial de textura arenosa a média

sobre um horizonte subsuperficial de textura média a argilosa, podendo apresentar horizonte E logo acima do horizonte B textural. A diferença entre elas está nos teores de alumínio trocável e valores de saturação por alumínio nos horizontes diagnósticos (B textural), sendo os Alissolos detentores dos teores mais elevados.

Os Alissolos e Argissolos apresentam grande variabilidade ambiental, morfológica, física e química que afetam o seu potencial de uso (PEDRON et al., 2004c e 2004d). Ambas as classes apresentam alta suscetibilidade à degradação ambiental quando são manejadas inadequadamente, principalmente em relação à erosão hídrica das camadas superficiais. Aliás, são essas classes de solos que recobrem as áreas onde ocorre o maior número de voçorocas no município de SM (MACIEL FILHO, 1990), tornando esses ambientes de risco a ocupação humana (ROBAINA et al., 2001).

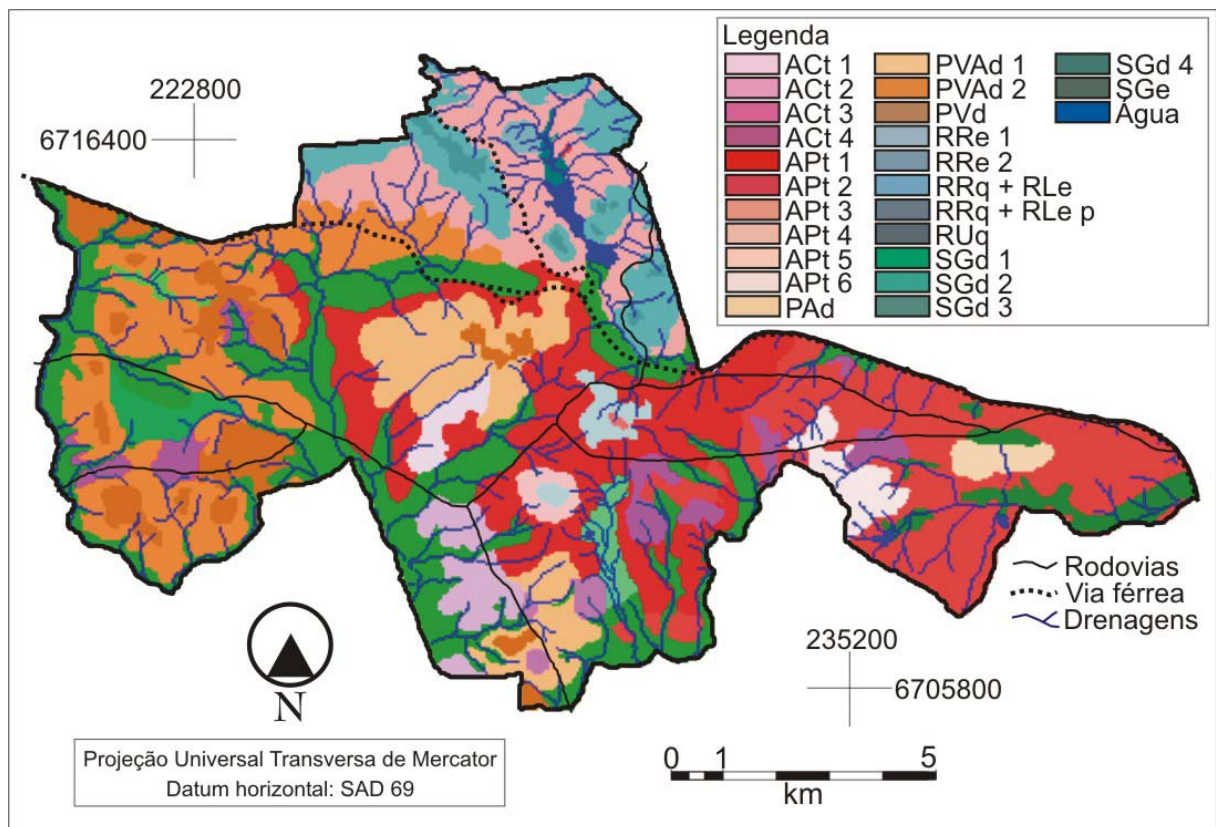


Figura 4. Mapa de solos semidetalhado do perímetro urbano de Santa Maria, RS.

Os Neossolos e os Planossolos também são solos suscetíveis à degradação ambiental. Os Neossolos do PUSM caracterizam-se pela espessura do horizonte superficial entre 20 a 40 cm sobre a rocha sã ou intemperizada, ocorrendo em relevo ondulado a escarpado no rebordo do Planalto, possuindo baixo potencial de uso (STRECK et al., 2002). Os Planossolos

Hidromórficos apresentam horizonte subsuperficial argiloso, no entanto, ocorrem em áreas de banhado e em várzeas que são áreas de recarga dos aquíferos locais (MACIEL FILHO, 1990).

Os dados referentes ao uso atual das terras (Tabela 2) mostram que a maior área é utilizada com campo natural (42 %) e urbano (33 %), totalizando 75 % do perímetro urbano. O mapa do uso das terras é apresentado na Figura 5, onde se pode observar que grande parte da área urbana concentra-se no eixo leste - oeste, devido à existência de limites físicos a expansão urbana no sentido norte - sul, como a linha de morros da serra geral (ao norte) e as unidades militares e universidade federal (ao sul) (URRUTIA, 2002). Outro fator que impulsionou o assentamento urbano no sentido leste – oeste foi à disposição da ferrovia, instalada neste sentido na região em 1885, a qual teve forte influência no crescimento de Santa Maria (BELÉM, 1989).

Nota-se a presença de floresta, principalmente nativa (20 %), em áreas de restrito acesso para produção agrícola e pecuária, como topo de morros e áreas com maior declividade, na porção norte do PUSM, junto ao rebordo do Planalto e nos morros residuais.

Nesse contexto, a utilização de imagem orbital na determinação do uso das terras mostrou-se eficiente em termos de agilidade e confiabilidade devido às especificidades da classificação digital, tal como já mencionado por FORMAGGIO et al. (1992); TREITZ et al. (1992); HARRIS & VENTURA (1995); PIROLI et al. (2002); DA COSTA & CINTRA (1999); MILLER & SMALL (2003); SANTOS & KLAMT (2004); WENTZ et al. (2004) e WU (2004).

O levantamento das APP aponta que 19 % do PUSM enquadram-se nesse grupo por ocorrerem em topos de morros, próximos a nascentes, rios e arroios ou apresentarem declividades acima de 100 %. Considerando as normas do CONAMA (2002), percebe-se que há uma sub-estimativa das APP, visto que é impossível identificar e localizar todas as nascentes, vertentes e olhos d'água distribuídos nas mais diversas feições geomorfológicas existentes na área de estudo. No entanto, as áreas de maior expressividade foram consideradas neste trabalho, destacando-se os topos de morros com 7 % da área total e as matas ciliares com 11 %.

O cruzamento dos dados das APP com os dados do solo, geologia, clima e relevo, conforme metodologia do SAPUT, resultaram nas classes de potencial de uso urbano das terras (Tabela 2). A classe predominante foi a 3u/2a (52 %), a qual compreende terras que possuem fortes limitações ao grupo descarte de resíduos, não sendo adequadas para tal. Também apresentou restrições referentes à profundidade do solo, drenagem do solo, material geológico, declividades, risco de inundações, permeabilidade do solo e rochiosidade do

terreno, sendo então restrita ao uso urbano com áreas verdes e de recreações, no grupo construções urbanas. Além destas restrições, outras como a contaminação do solo e suscetibilidade a erosão são responsáveis pela restrição ao uso com olericultura e fruticultura, no grupo agricultura urbana.

Tabela 2. Áreas dos PI uso atual, área de preservação permanente, potencial de uso urbano das terras e conflitos de uso das terras, e resultados dos cruzamentos entre os PI potencial de uso urbano das terras com o buffer de 200 metros dos cursos d'água, para o perímetro urbano de Santa Maria, RS.

Planos de informação	Áreas*	
	ha	%
Uso atual das terras		
Urbano	4.148	33
Floresta	2.533	20
Agricultura anual	564	4
Campo natural	5.221	42
Corpos d'água	82 ⁺	1
Áreas de preservação permanentes (APP)		
Matas ciliares	1.439	11
Nascentes e fontes naturais	144	1
Topos de morros	847	7
Áreas com declividades acima de 100 %	10	0
Áreas não consideradas APP	10.108	81
Potencial de uso urbano das terras		
3u/2a	6.491	52
3r/2u/1a	423	3
3r/2u/2a	1.558	12
2r/2u/2a	1.497	12
3u/3a	32	0
1P	2.547	20
Potencial de uso urbano das terras x buffer de 200 m dos cursos d'água		
3u/2a	2.122	17
3r/2u/1a	189	2
3r/2u/2a	591	5
2r/2u/2a	674	5
3u/3a	0	0
1P + áreas inadequadas ao descartes de resíduos	8.972	72
Conflitos de uso das terras		
Uso adequado das terras	2.729	22
Sub-utilização das terras	5.702	45
Uso inadequado das terras (super-utilização)	4.117	33

* A soma das porcentagens pode não igualar a 100 devido a erros de arredondamentos.

+ A diferença entre as áreas de corpos d'água das Tabelas 1 e 2 é devido a primeira apresentar dados extraídos de fotografias aéreas de 1996, utilizadas na confecção do mapa base para o levantamento de solos, sendo a segunda, obtida da imagem ETM+ 2002.

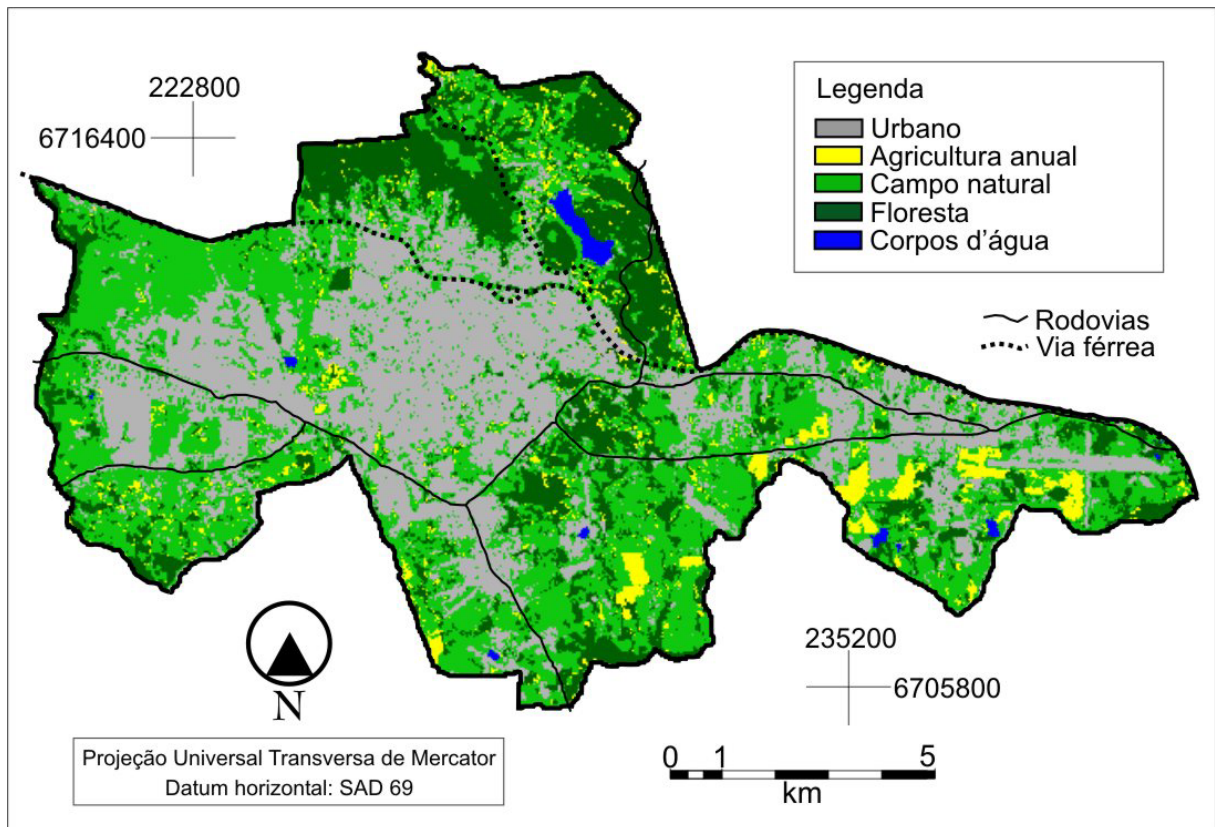


Figura 5. Mapa de uso atual das terras do perímetro urbano de Santa Maria, RS.

O restante da área apresentou potencial limitado para descarte de resíduos com materiais orgânicos e inorgânicos atóxicos e uso restrito para construções urbanas do tipo residencial e comercial (27 %), sendo 20 % do PUSM classificado como área de preservação ambiental. Os fatores restritivos para estas classes foram praticamente os mesmos citados anteriormente (Tabela 3). O mapa de potencial de uso urbano das terras pode ser visualizado na Figura 6.

A forte limitação das terras quanto ao uso para descarte de resíduos está associada principalmente com a proximidade dos cursos d'água e com o material de origem. De acordo com a legislação específica (ABNT, 1997), aterros sanitários não podem ser instalados em uma faixa de 200 m dos cursos d'água, sejam eles perenes ou intermitentes. Nesse caso, o mapa de potencial de uso foi cruzado com o PI *buffer* 200 m, determinando as áreas inadequadas ao grupo descarte de resíduos. As áreas resultantes desse cruzamento podem ser observadas na Tabela 2, enquanto o mapa pode ser visto na Figura 7.

Tabela 3. Detalhamento dos fatores restritivos para cada grupo de uso das terras conforme o SAPUT.

Classes de potencial de uso ¹	Fatores restritivos por grupo de uso urbano das terras ²		
	Descarte de resíduos	Construções urbanas	Agricultura urbana
3u/2a	-	ps, dr, g, d, i, pm, r	dr, e, i, d, ct, os, u
3r/2u/1a	t, dr, a, td, c, ps	dr, e, ps	e, dr, u
3r/2u/2a	ps, d	ps, e, dr, d	dr, e, d, u
2r/2u/2a	ps	ps, e	e, u
3u/3a	-	d, e, g, ps, r	d, e, os, u
1P	-	-	-

¹ grupo descarte de resíduos: r - potencial restrito, 2 - subgrupo resíduos inorgânicos atóxicos, 3 - subgrupo resíduos orgânicos atóxicos; grupo construções urbanas: u - potencial restrito, 2 - subgrupo comercial e residencial, 3 - subgrupo áreas verdes e recreativas; grupo agricultura urbana: a - potencial restrito, 2 - subgrupo olericultura e fruticultura, 3 - subgrupo silvicultura e/ou pastagem natural; grupo preservação ambiental: 1P - potencial adequado.

² ps - profundidade do solo; dr - drenagem do solo; g - material geológico; d - declividade do terreno; i - risco de inundações; pm - permeabilidade do solo; r - rochividade; e - suscetibilidade a erosão; ct - contaminação do solo; a - distância de cursos d'água, u - distância de área urbana.

Considerando a zona de segurança de 200 m dos cursos d'água e ainda as demais classes não aptas para o grupo descarte de resíduos, as áreas inadequadas são elevadas de 72 % para 89 % do PUSM. Outro aspecto importante é que não foi considerado o fato de que a instalação de aterros sanitários em áreas de expansão urbana é ilegal segundo FEPAM (1995). A consideração desse aspecto levaria a inadequação de 100 % do PUSM.

O material geológico foi outro fator restritivo que limitou o uso com os grupos descarte de resíduos e construções urbanas. SM encontra-se sobre uma região de transição entre a Bacia do Paraná e a Serra Geral, onde predominam Formações sedimentares constituídas de arenitos, siltitos e argilitos (SCHERER et al., 2000). Na área de estudo ocorre uma camada geológica considerada impermeável que é o Membro Alemoa da Formação Santa Maria. Essa camada não oferece perigo ao uso urbano, pois não apresenta caráter aquífero. No entanto, todos os demais materiais, os quais pertencem ao Membro Passo das Tropas da Formação Santa Maria, Formação Caturrita, Formação Botucatu e Formação Serra Geral são considerados permeáveis a semipermeáveis, oferecendo riscos de contaminação das águas subterrâneas (MACIEL FILHO, 1990). A utilização inadequada destes recursos comprometeria a saúde da população usuária destas águas, de forma direta ou indireta.

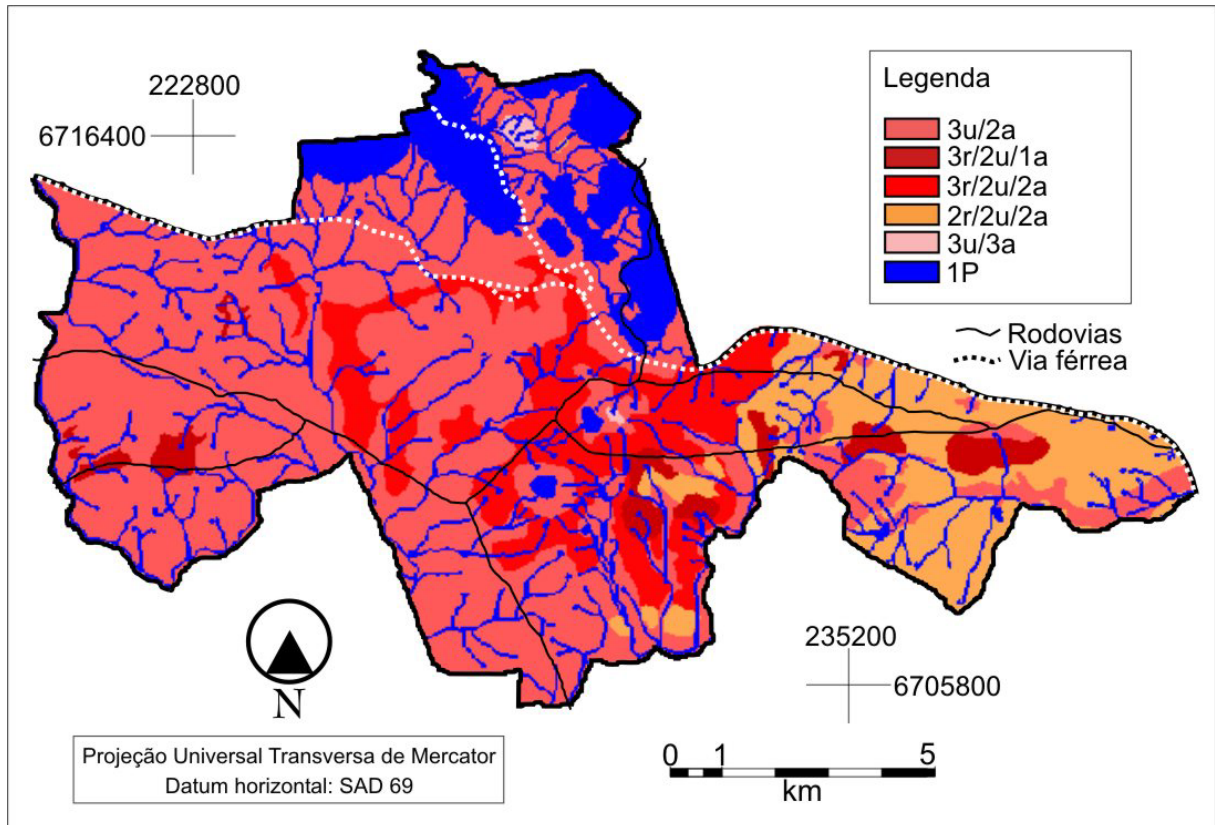


Figura 6. Mapa de potencial de uso urbano das terras do perímetro urbano de Santa Maria, RS.

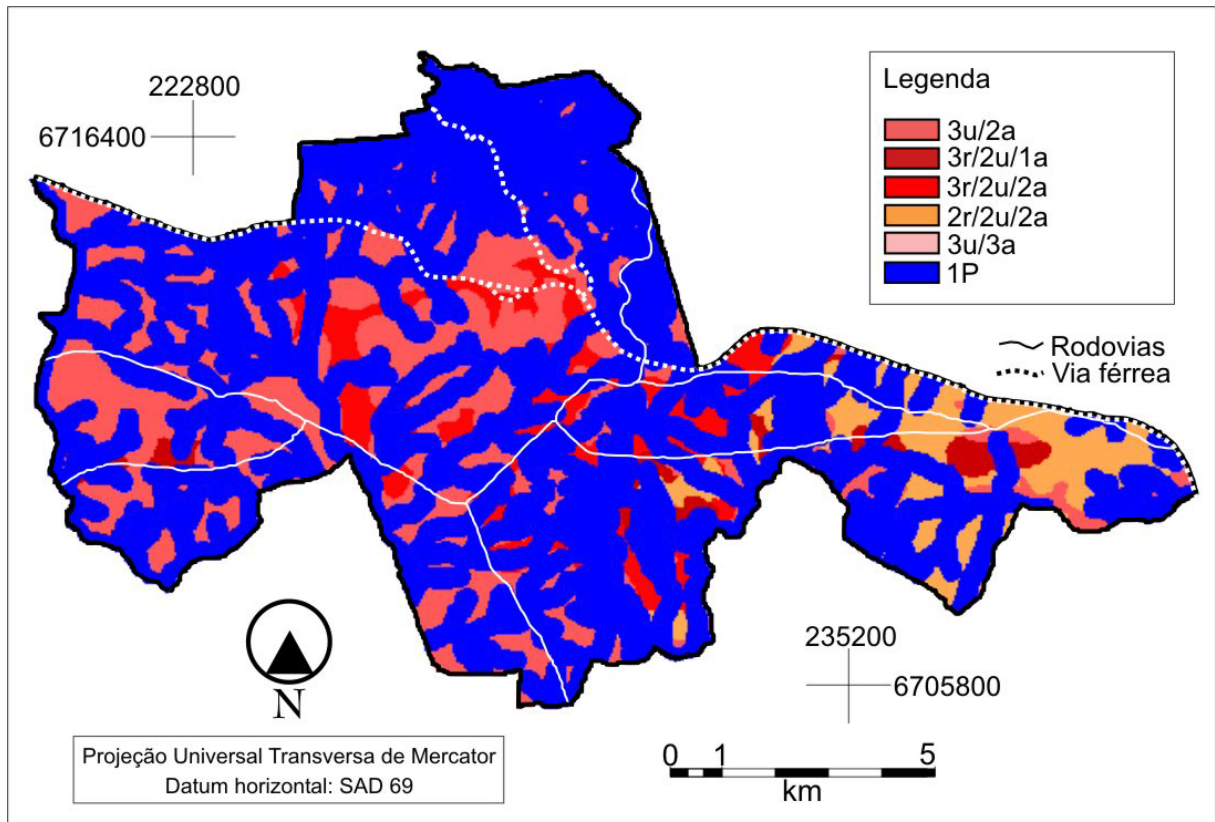


Figura 7. Mapa de potencial de uso urbano das terras com zona de segurança de 200 m dos cursos d'água para o perímetro urbano de Santa Maria, RS.

O cruzamento dos mapas de potencial de uso urbano das terras com o mapa de uso atual originou o mapa de conflitos de uso das terras (Figura 8). Os dados referentes a estes conflitos (Tabela 2), mostram que 22 % da área apresentam utilização adequada, conforme a estimativa da sua capacidade de uso gerada pelo SAPUT. Terras que se encontram sob sub-utilização (45 %) perfazem, em grande parte, áreas de campo natural que apresentam potencial para uso, principalmente, para construções urbanas e agricultura urbana, nos subgrupos 2 e 3 do SAPUT.

As áreas sob uso inadequado (33 %), devido à utilização acima do seu potencial, podem ser divididas em dois grupos segundo sua expressividade. O primeiro grupo é das APP, onde terras que deveriam ser mantidas para manutenção do ecossistema natural estão sendo utilizadas como lavouras anuais e perenes, campos naturais para criação de animais e empreendimentos urbanos. A pressão antrópica sobre áreas naturais tem estado acima das legislações ambientais, fato comum na região da Depressão Central do RS (PIROLI et al., 2002, BOLFE et al, 2004).

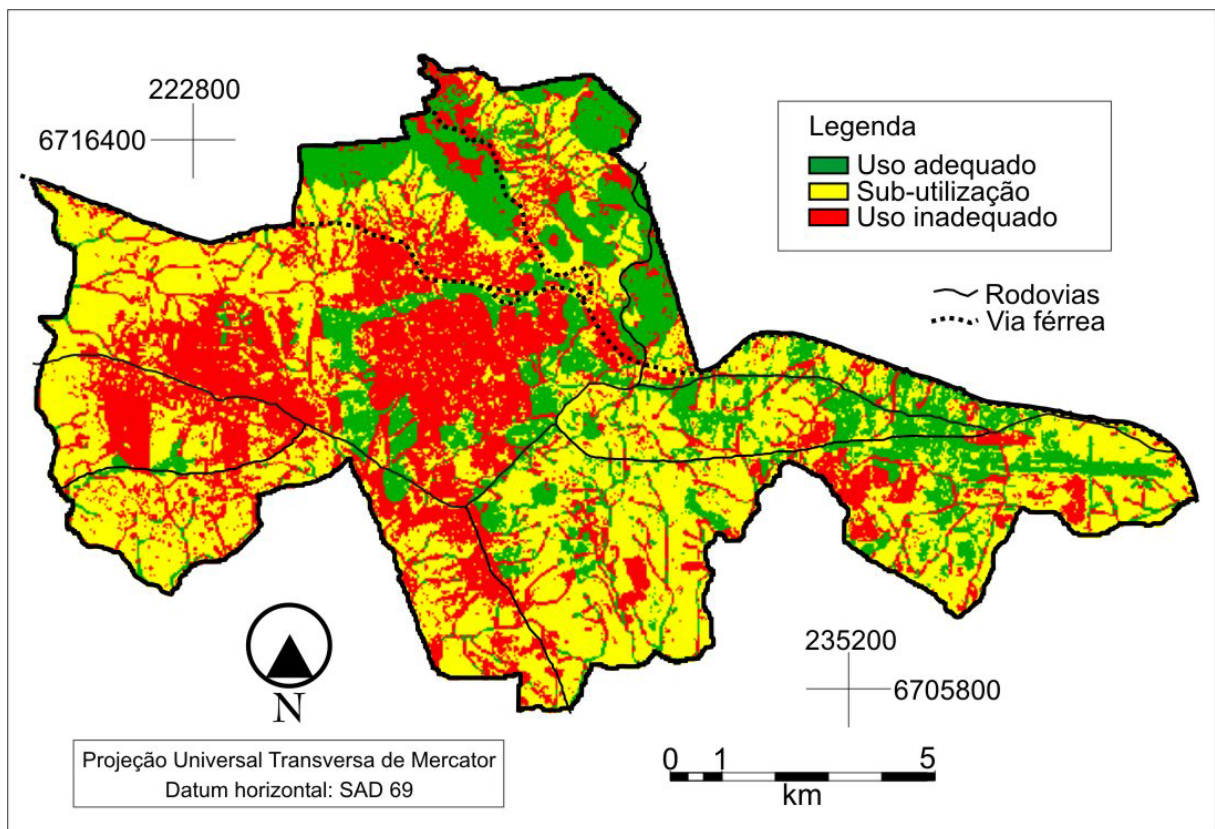


Figura 8. Mapa de conflitos de uso urbano das terras no perímetro urbano de Santa Maria, RS.

O segundo grupo são terras que apresentam alta suscetibilidade à degradação e contaminação e estão sendo utilizadas para construções urbanas. Foram observadas áreas sob uso urbano que apresentam limitações devido ao tipo de material geológico (aquífero) e ao caráter hidromórfico dos solos. Em relação à geologia, destaca-se o bairro centro da cidade, o qual situa-se sobre o arenito da Formação Caturrita, responsável pelo suprimento de água de muitos santamarienses, e que se encontra extremamente poluído (MACIEL FILHO, 1990). Quanto ao caráter hidromórfico dos solos, destacam-se as áreas de várzea dos arroios Cadena e Ferreira, onde a ocupação urbana é bastante intensa. Nessas áreas o ambiente oferece riscos à ocupação, como inundações, solapamentos e deslizamentos próximo às margens dos arroios, instabilidade para as construções e contaminação dos recursos naturais pelo descarte de resíduos provenientes das atividades humanas (BERGER, 2001; ROBAINA et al., 2001).

3.4. CONCLUSÕES

O mapa de solos do PUSM mostra que 69 % da área é constituída de Alissolos e Argissolos, os quais apresentaram restrições de uso para descarte de resíduos, construções urbanas e agricultura urbana. Os solos que sofrem maior pressão urbana são os Planossolos, por ocorrerem em ambientes frágeis como as várzeas.

O SAPUT em sua primeira aproximação apresentou boa potencialidade de uso na avaliação de diferentes terras no PUSM. No entanto, detalhes podem ser ajustados para uma melhor funcionalidade e precisão ao que se propõem, como, por exemplo, uma melhor discussão referente aos fatores restritivos e seus valores (intervalos numéricos).

Verificou-se que 52 % do PUSM (6.491 ha) apresenta potencial de uso restrito a construções e agricultura urbana, sendo inadequados para descarte de resíduos. Da mesma forma, existem 4117 ha (33 %) do PUSM sendo utilizados incorretamente. Destaca-se entre estas áreas, as APP que são utilizadas para lavouras e pecuária, áreas urbanas sobre sítios suscetíveis a poluição devido ao material de origem arenito e áreas urbanas sobre várzeas e banhados, os quais deveriam ser mantidos na sua forma natural, ou explorados com embasamento técnico e planejamento adequado.

O uso das técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento foram importantes na realização desse trabalho, permitindo a sobreposição dos PI de forma adequada, rápida e eficiente. No entanto, estudos mais detalhados do ambiente urbano devem utilizar imagens com resolução espacial superior aos produtos do Landsat, assim como é fundamental o uso de

algoritmos específicos capazes de separar e agrupar corretamente os diferentes alvos pertencentes à classe urbana, reduzindo os erros na etapa de classificação.

CAPÍTULO 4

Estudo 3

**ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DA OCUPAÇÃO DAS TERRAS E
SEUS CONFLITOS DE USO NO PERÍMETRO URBANO DE SANTA
MARIA - RS (1975 - 2002)**

4. ANÁLISE DA DINÂMICA ESPACIAL DA OCUPAÇÃO DAS TERRAS E SEUS CONFLITOS DE USO NO PERÍMETRO URBANO DE SANTA MARIA - RS (1975 - 2002)

4.1. INTRODUÇÃO

Embora o processo de urbanização seja um fenômeno mundial, no Brasil ocorre de forma mais acentuada, semelhante aos demais países em desenvolvimento. A expansão urbana brasileira tem sido resultado do rápido processo de industrialização e crescimento demográfico, com um incremento bastante forte após a década de 70 (CALLAI, 1993; ROSSATO, 1993; DA COSTA & CINTRA, 1999). Os números do Censo 2000 mostram que 81 % da população brasileira reside em áreas urbanas e que este processo é irreversível, registrando-se o aumento de 5 % em relação ao Censo de 1991, que apresentava uma população urbana aproximada de 76% do total (BRASIL, 2004).

Atualmente, em escala variável, as cidades brasileiras apresentam problemas comuns que foram agravados, ao longo dos anos, pela falta de planejamento e controle dos processos ocorridos no espaço urbano (BRASIL, 2004). A falta de cuidados com os recursos naturais somados ao descaso pelas condições de vida das populações pobres são grandes responsáveis pela degradação das cidades, afetando, de alguma maneira, todos os extratos sociais, necessitando uma abordagem multidisciplinar para sua solução (CALLAI, 1993; ROSSATO, 1993; DA COSTA & CINTRA, 1999; EL ARABY, 2002).

Em relação ao município de Santa Maria, o processo de urbanização intensificou-se a partir dos anos 60, dobrando sua população em apenas duas décadas. Com a instalação da rede ferroviária em 1885, foi estimado uma população urbana de 3 mil habitantes (BELÉM, 1989), a qual chegou a 80 mil em 1960, 164 mil em 1980 e 196 mil em 1991 (IBGE, 2005). Segundo dados do último censo (IBGE, 2000), a taxa de urbanização de Santa Maria aumentou de 66 % em 1960 para 95 % em 2000. Este caráter urbano de Santa Maria trouxe consigo uma infinidade de problemas sócio - ambientais resultantes da falta de organização do espaço urbano, o qual é caracterizado pela expansão desordenada, por vezes, sobre áreas impróprias que oferecem risco a ocupação humana (BERGER, 2001; ROBAINA et al., 2001).

Neste contexto, o estudo da dinâmica de uso das terras é fundamental ao entendimento dos processos ocorridos no ambiente urbano. A análise multitemporal do uso das terras, juntamente com prognósticos de cenários, tem se mostrado importante na determinação dos conflitos de uso dos recursos naturais, sendo muito utilizados no diagnóstico e monitoramento

das condições ambientais das cidades em todo o mundo (LOGSDON et al., 1996; THOMLINSON & RIVERA, 2000; LÓPEZ et al., 2001; HATHOUT, 2002; HARA et al., 2004). Devido à evolução da informática, as técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento tornaram-se grandes aliadas no estudo temporal do uso das terras.

A utilização de ferramentas como sensoriamento remoto e geoprocessamento tem sido positiva na análise e monitoramento de áreas urbanas. Essas técnicas permitem uma abordagem mais dinâmica do ecossistema urbano, considerando elementos ambientais importantes ao seu entendimento e manejo. Diversos autores têm as usado na avaliação temporal do uso das terras em áreas urbanas e suburbanas confirmando a sua eficiência (CANEPARO, 2000; THOMLINSON & RIVERA, 2000; LÓPEZ et al., 2001; HATHOUT, 2002; SMALL, 2002; HARA et al., 2004). Entretanto, a utilização de tais técnicas depende de conhecimentos específicos de informática e da disponibilidade de dados do ambiente, os quais são, freqüentemente, inexistentes na grande maioria dos municípios brasileiros.

Os objetivos desse trabalho foram analisar a dinâmica de ocupação das terras no perímetro urbano de Santa Maria, RS, através da caracterização do seu uso em diferentes épocas, determinando os conflitos de uso das terras para cada período observado entre 1975 e 2002.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido para o município de Santa Maria (SM), Rio Grande do Sul (RS), em seu perímetro urbano (SANTA MARIA, 2001). O estudo temporal do uso das terras do perímetro urbano de Santa Maria (PUSM) foi efetuado através da análise de fotografias aéreas do ano de 1975, na escala 1:110.000, ampliadas até a escala 1:50.000, e imagens multiespectrais do sensor TM (Landsat 5) do ano de 1987 e 1995 e do sensor ETM+ (Landsat 7) do ano de 2002, com resolução espacial de 30 metros. Os diversos Planos de Informação (PI) considerados neste trabalho foram produzidos e manejados utilizando-se técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento digital, através do aplicativo Spring – Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (CAMARA et al., 1996), versão 4.0, desenvolvido pelo INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Os mapas de uso atual das terras para os períodos de 1987, 1995 e 2002 foram gerados a partir da classificação multiespectral supervisionada das respectivas imagem orbitais, bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. O método de classificação utilizado foi o “pixel a pixel”, através do classificador estatístico “MAXVER” (máxima verossimilhança) (INPE, 2003), com

desempenho médio acima de 95 %. Foram estabelecidas cinco classes de uso: urbano (todos os elementos artificiais característicos do meio urbano, assim como rodovias, e estradas municipais), floresta (nativa e plantada), agricultura anual (culturas anuais), campo natural (pastagens naturais e vegetação secundária) e corpos d'água (arroyos, córregos, lagos e barragens). Pequenos erros de classificação em que áreas de solo exposto (classe agricultura anual) foram classificadas na classe urbano, assim como áreas da classe floresta e urbano foram classificadas na classe corpos d'água, foram parcialmente corrigidos pela reambulação temática.

O mapa de uso da terra de 1975 foi gerado pela classificação supervisionada da fotografia aérea, na escala 1:110.000, ampliada até a escala 1:50.000 e digitalizada utilizando-se os mesmos métodos das imagens multiespectrais. No entanto, a classe agricultura anual foi suprimida nesta classificação devido à existência de uma única banda espectral e maior dificuldade de separação digital dos diferentes alvos da fotografia, sendo suas áreas incluídas na classe campo natural.

É importante ressaltar que a classe “urbano” representa todos os materiais artificiais presentes no ambiente urbano, sendo a definição de área urbana neste trabalho não atrelada a presença de determinadas estruturas ou a localização de um alvo, mas sim, unicamente ao valor espectral de cada objeto imageado e agrupado nesta classe. Além disso, este estudo não objetivou detalhar os diferentes tipos de uso urbano (residencial, comercial, industrial, vazios, etc.) das terras.

O mapa de potencial de uso das terras foi gerado pelo Sistema de Avaliação do Potencial de Uso Urbano das Terras (SAPUT) (Capítulo 2). A constituição deste mapa considerou informações referentes aos solos, geologia, áreas de preservação permanente, clima, relevo e recursos hídricos da área de estudo, gerando classes de potencial de uso urbano para os grupos descarte de resíduos, construções urbanas, agricultura urbana e preservação ambiental. Os PI de uso das terras foram sobrepostos ao PI potencial de uso urbano das terras (Capítulo 3 - Figura 6) dando origem aos mapas de conflitos de uso das terras para cada período analisado, conforme mostra a Figura 1.

As análises de correlação e regressão foram realizadas através do aplicativo estatístico Statistica, versão 6 (STAT SOFT, Inc., 2001).

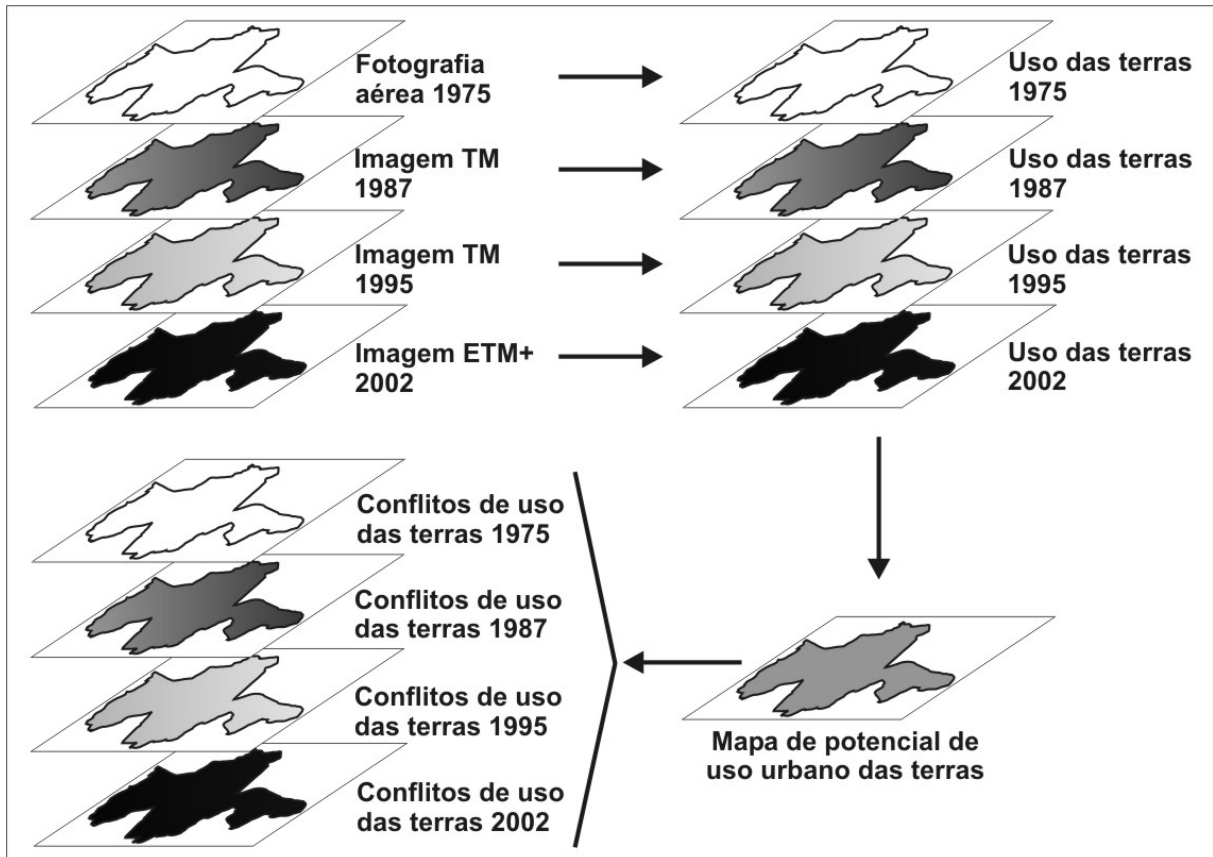


Figura 1. Fluxograma de execução dos trabalhos.

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados obtidos pela geração dos PI uso das terras para os períodos avaliados são apresentados na Tabela 1. O uso das terras em 1975 mostra que a área urbana estendia-se sobre 9 % do espaço físico, aumentando acentuadamente em 12 anos, chegando em 1987 a 28 %. Se forem considerados os dados dos censos realizados no município, verifica-se que próximo a este período, nas décadas de 60 a 80, ocorreu aumento da população de aproximadamente 80 mil para 160 mil habitantes. Nesse caso, observa-se um crescimento horizontal da cidade, onde novas áreas são tomadas pelas construções urbanas. Já os dados de 1995 e 2002 apontam uma ocupação urbana de 32 a 33 %. Considerando-se o crescimento populacional de 1987 a 2002, percebe-se que aproximadamente novos 80 mil habitantes são somados ao contingente da cidade, no entanto o crescimento urbano caracteriza-se muito mais por um fenômeno vertical, visto que a área urbana não teve aumento considerável.

É importante ressaltar que os 9 % da área urbana em 1975 é um número subestimado tendo em vista o método de classificação utilizado neste trabalho, o qual não considera espaços legais, mas sim, áreas realmente ocupadas por construções ou modificadas pelo

homem. Como em 1975 a densidade de ocupação era relativamente menor, áreas legalmente urbanas foram consideradas como campo natural. Entretanto, esse fato não altera a dinâmica de expansão urbana observada, já comentada anteriormente.

Tabela 1. Áreas dos PI uso das terras nos períodos de 1975, 1987, 1995 e 2002 para o perímetro urbano de Santa Maria, RS.

Planos de informação	Áreas*	
	ha	%
Uso das terras 1975		
Urbano	1.102	9
Floresta	1.435	11
Agricultura anual	- [†]	-
Campo natural	9.948	79
Corpos d'água	63	1
Uso das terras 1987		
Urbano	3.475	28
Floresta	1.438	11
Agricultura anual	360	3
Campo natural	7.207	57
Corpos d'água	68	1
Uso das terras 1995		
Urbano	3.972	32
Floresta	1.578	13
Agricultura anual	992	8
Campo natural	5.929	47
Corpos d'água	77	1
Uso das terras 2002		
Urbano	4.148	33
Floresta	2.533	20
Agricultura anual	564	4
Campo natural	5.221	42
Corpos d'água	82	1

* A soma das porcentagens pode não igualar a 100 devido a erros de arredondamentos.

[†] No PI uso das terras de 1975 a classe agricultura anual foi incluída na classe campo natural, devido à dificuldade de classificar corretamente as duas classes.

O crescimento vertical das cidades é positivo enquanto áreas naturais deixam de ser degradadas pela urbanização, no entanto, o aumento da concentração humana em áreas pequenas promove diversos efeitos sociais e ambientais negativos. Diversos trabalhos têm mostrado que a alta concentração populacional em áreas restritas causa a redução da qualidade de vida pela ausência de áreas verdes e recreativas, aumento da poluição visual, sonora e atmosférica, contaminação do ambiente devido à produção e manejo inadequado do lixo urbano, aumento da criminalidade e violência, entre outros (CALLAI, 1993; ROSSATO, 1993; EL ARABY, 2002).

As áreas de floresta no município mantiveram-se estáveis desde 1975 até 1995, aumentado desde então. A dinâmica dessas áreas está ligada com aquelas ocupadas pela agricultura e pecuária, as quais foram abertas sobre florestas. Influências ambientalistas a partir da conferência para o desenvolvimento e meio ambiente - ECO 92, programas de educação ambiental e a criação de novas leis ambientais repercutem hoje com o aumento da cobertura florestal em todo o estado (RS, 2002).

Na Figura 2 é apresentada a distribuição de algumas classes de uso das terras para o período avaliado neste estudo. As áreas de campo natural apresentam redução progressiva, enquanto o oposto ocorre com a classe urbano. As áreas de lavouras anuais no PUSM têm se mantido estáveis a partir de 1975, com pequenos incrementos em anos de melhores condições agrícolas.

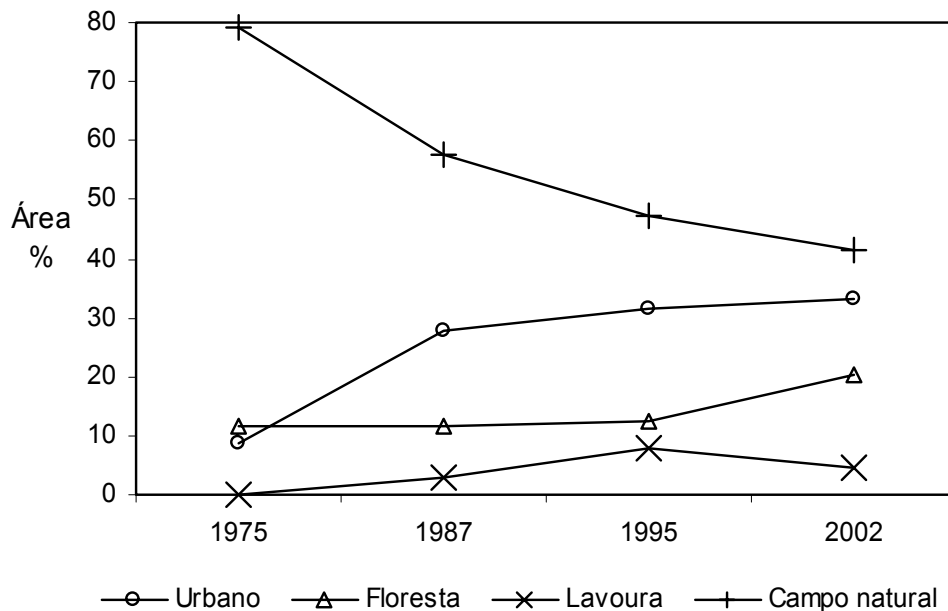


Figura 2. Comportamento dos diferentes usos das terras nos períodos de 1975, 1987, 1995 e 2002.

A variação ocorrida na classe corpos d'água entre 1975 e 1995 foi devido ao volume d'água armazenado na barragem da CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento). O aumento da área desta classe em 2002 foi possível através da identificação de novas áreas inundadas no PUSM, na classificação das imagens deste ano.

Os resultados do cruzamento do mapa de potencial de uso urbano das terras e dos mapas de uso para os diferentes períodos encontram-se na Tabela 2. Os conflitos de uso das terras estão atrelados aos seus diferentes tipos de uso, sendo assim, observando-se os dados de

1975 a 2002, verifica-se que o aumento das áreas urbanas e a redução das áreas de campo natural foram os responsáveis pela elevação das áreas sob uso inadequado. Os problemas de uso das terras no PUSM estão relacionados com a utilização de áreas de várzeas e banhados ou com material geológico suscetível a contaminação quando destinadas as construções urbanas.

Tabela 2. Áreas dos PI conflitos de uso das terras nos períodos de 1975, 1987, 1995 e 2002 para o perímetro urbano de Santa Maria, RS.

Planos de informação	Áreas*	
	ha	%
Conflitos de uso das terras 1975		
Adequado	1.193	10
Sub-utilizado	8.993	72
Inadequado	2.362	19
Conflitos de uso das terras 1987		
Adequado	1.906	15
Sub-utilizado	6.575	52
Inadequado	4.067	32
Conflitos de uso das terras 1995		
Adequado	2.328	19
Sub-utilizado	5.637	45
Inadequado	4.583	37
Conflitos de uso das terras 2002		
Adequado	2.729	22
Sub-utilizado	5.702	45
Inadequado	4.117	33

* A soma das porcentagens pode não igualar a 100 devido a erros de arredondamentos.

O uso das terras inadequadamente para construções urbanas tem sido apontado por MACIEL FILHO (1988b; 1990). Áreas nos bairros Centro, Urlândia, Parque Pinheiro Machado, Cohab Passo da Ferreira e Juscelino Kubtschek em Santa Maria, apresentam material geológico formado de arenito, que possui fragilidade à contaminação de águas subterrâneas. Considerando que a densidade urbana aumentou de 1975 a 2002, observa-se que este problema tem sido comum até os dias de hoje. Além disso, a remoção da cobertura pedológica para construções urbanas aumenta ainda mais os riscos de contaminação do lençol freático, haja visto que os solos possuem a capacidade de filtrar e inertizar substâncias potencialmente perigosas (AZEVEDO & DALMOLIN, 2004).

A utilização de várzeas e banhados para construções urbanas e descarte de resíduos também é outro caso de inadequação de uso das terras no PUSM. Segundo o mapa de solos (Capítulo 3), esses ambientes apresentam predomínio de Planossolos Hidromórficos,

Neossolos Flúvicos e Gleissolos Háplicos. Tais solos são caracterizados pela espessura variável, com horizonte superficial arenoso, ocorrendo em áreas com saturação hídrica durante boa parte do ano, em relevos planos a suave ondulados (STRECK et al., 2002), sendo formados sob depósitos fluviais de várzeas (MACIEL FILHO, 1990). As limitações desses materiais devem-se a baixa estabilidade a obras civis, suscetibilidade a inundações, solapamentos e contaminação de águas subterrâneas.

Numa análise particular do crescimento demográfico de Santa Maria e sua relação com as áreas sob uso inadequado e as áreas urbanas, verifica-se que há correlação linear positiva para ambas as simulações ($r = 0,90$ e $r = 0,95$, respectivamente). A regressão mostra que existe uma tendência logarítmica para as duas relações testadas (Figura 3). Essa tendência confirma o predomínio do crescimento vertical da cidade sobre o horizontal, onde atualmente, poucas novas áreas são adicionadas ao meio urbano em comparação a duas décadas atrás.

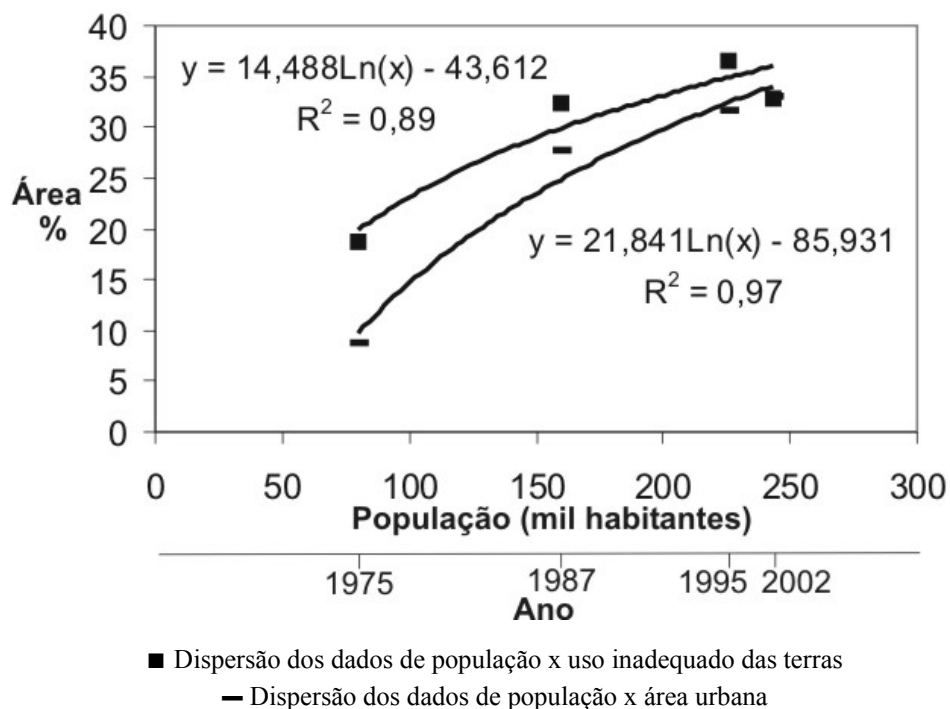


Figura 3. Correlação e regressão para os dados de população x uso inadequado das terras e população x área urbana para o perímetro urbano de Santa Maria, RS.

A configuração espacial de uso das terras e de conflitos de uso das terras para as diferentes épocas avaliadas são apresentados nos mapas das Figuras 4, 5, 6 e 7. De acordo com URRUTIA (2002), a configuração atual de Santa Maria é consequência da falta de planejamento, especulação imobiliária e crescimento demográfico a partir da década de 60. Esse crescimento demográfico intenso após 1960 ocorreu devido à instalação da universidade

federal, da base aérea e das unidades militares do exército, destacando o município nas atividades educacionais, militares e hospitalares da região e fortalecendo o setor terciário. Neste contexto, Santa Maria torna-se um centro de oportunidades para as comunidades vizinhas (BECKER, 1996; URRUTIA, 2002). CANEPARO (2000) estudando a dinâmica de ocupação antrópica em Paranaguá - PR, também verificou que a configuração urbana é resultado, em grande parte, da especulação imobiliária.

O censo realizado pelo IBGE em 2000, nos municípios brasileiros, revela a presença de assentamentos irregulares em quase 100% das cidades com mais de 500 mil habitantes e também, ainda que em menor escala, nas cidades médias e pequenas (BRASIL, 2004). Em Santa Maria, foi nas décadas de 60 e 70 que se iniciaram as invasões de “áreas ociosas”, dando início a um processo ilegal resultante da ausência do governo nos aspectos estrutural e estratégico (URRUTIA, 2002). Tais invasões ocorrem até os dias de hoje, sendo o principal alvo áreas do município e do estado, devido à conivência e falta de controle territorial do governo. Esses assentamentos irregulares caracterizam-se por problemas de infra-estrutura e planejamento, ocupando, freqüentemente, áreas de risco ambiental e social (BERGER, 2001; ROBAINA et al., 2001; URRUTIA, 2002).

Em Santa Maria, podem-se destacar loteamentos irregulares como os do morro Cechella e vila Bilibiu, os quais ocorrem em áreas de proteção ambiental frágeis a ocupação humana (ROBAINA et al., 2001). De acordo com o mapa de solos do PUSM (Capítulo 3), nessas áreas ocorre predomínio de Neossolos Litólicos e Neossolos Regolíticos, ambos sobre relevo ondulado a escarpado. Estes solos apresentam horizonte A raso sobre a rocha matriz consolidada ou parcialmente alterada, neste caso o basalto, caracterizando-se pela alta suscetibilidade a erosão hídrica, devido a sua morfologia e relevo, e pelas restrições a ocupação urbana devido a pouca espessura do solo, afloramentos rochosos e declividades acentuadas (STRECK et al., 2002; GHERARDI, et al., 2003).

Segundo PINHEIRO (2004), os riscos oferecidos por áreas de encostas são resultantes da pressão antrópica sobre ambientes com baixo potencial de uso. A ocupação urbana dessas áreas promove diversas alterações, comprometendo, principalmente, a estrutura física do ecossistema local. Os principais problemas nesse caso estão relacionados com a contaminação dos solos e águas pelo descarte inadequado de lixo e esgotos e pela erosão e deslizamentos ocasionados por movimentos de massas provocados pela concentração dos fluxos de drenagens e aterros domésticos instáveis.

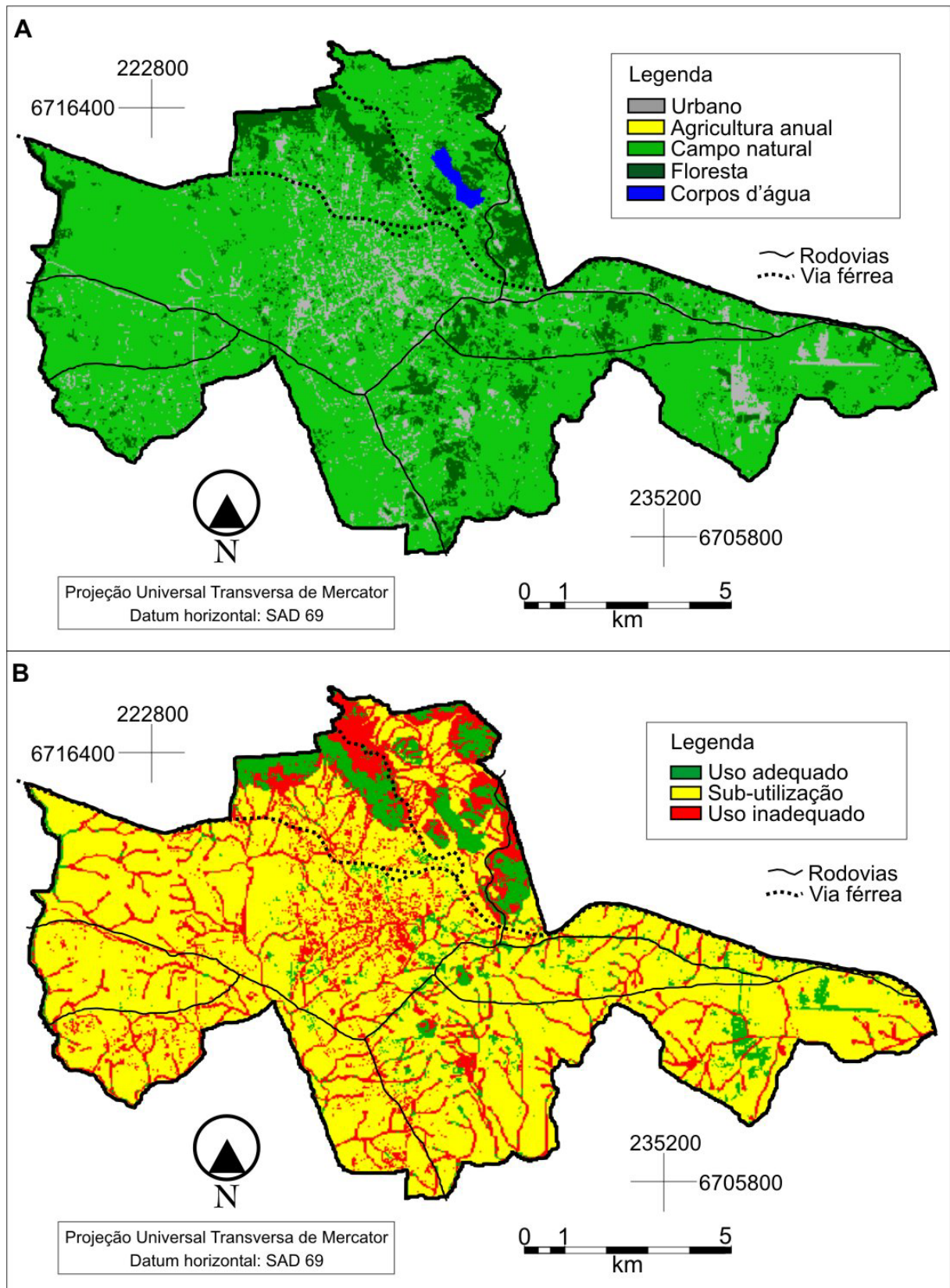


Figura 4. Mapa de uso das terras em 1975 (A) e mapa de conflitos de uso das terras em 1975 (B), para o perímetro urbano de Santa Maria, RS.

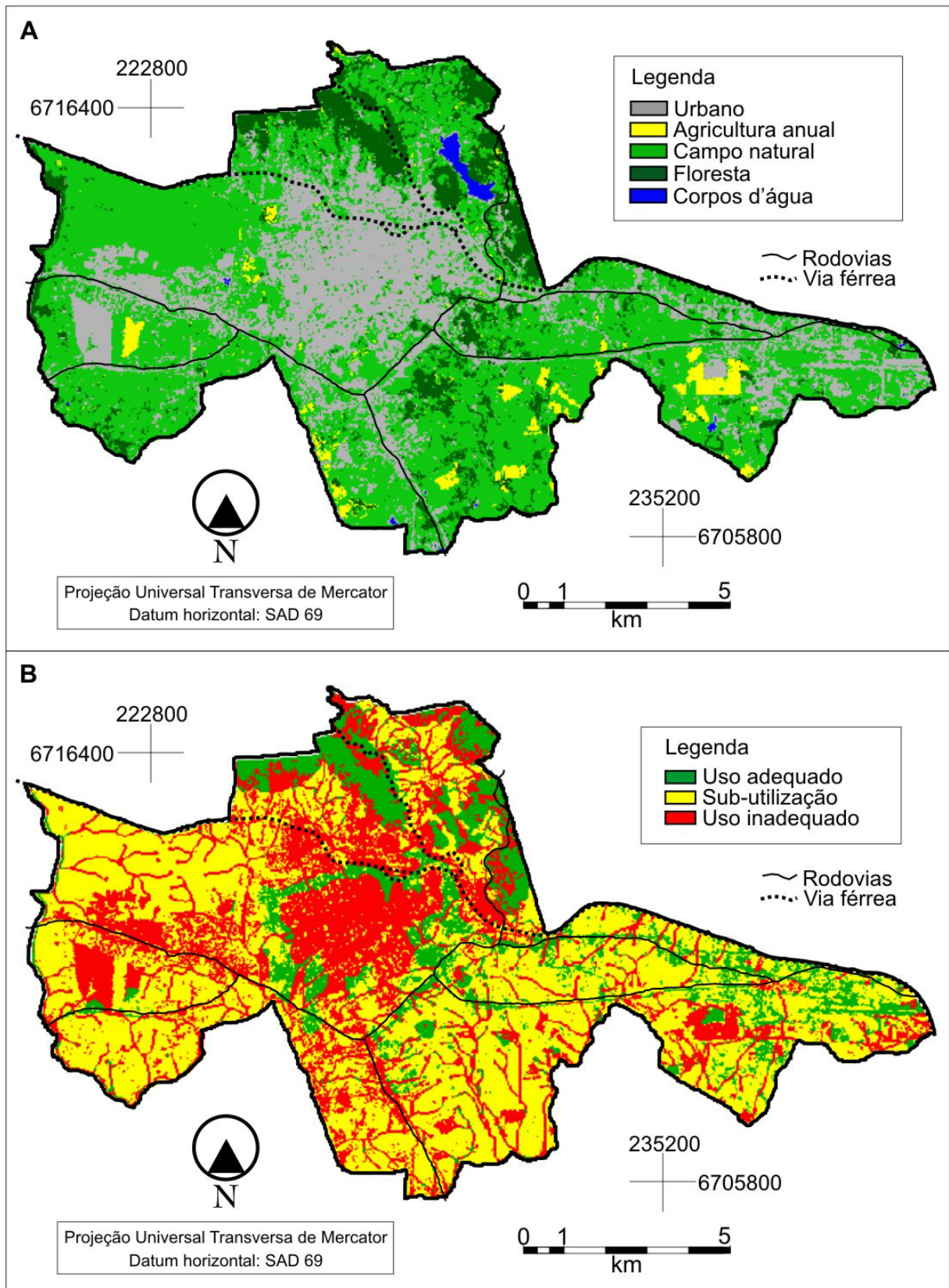


Figura 5. Mapa de uso das terras em 1987 (A) e mapa de conflitos de uso das terras em 1987 (B), para o perímetro urbano de Santa Maria, RS.

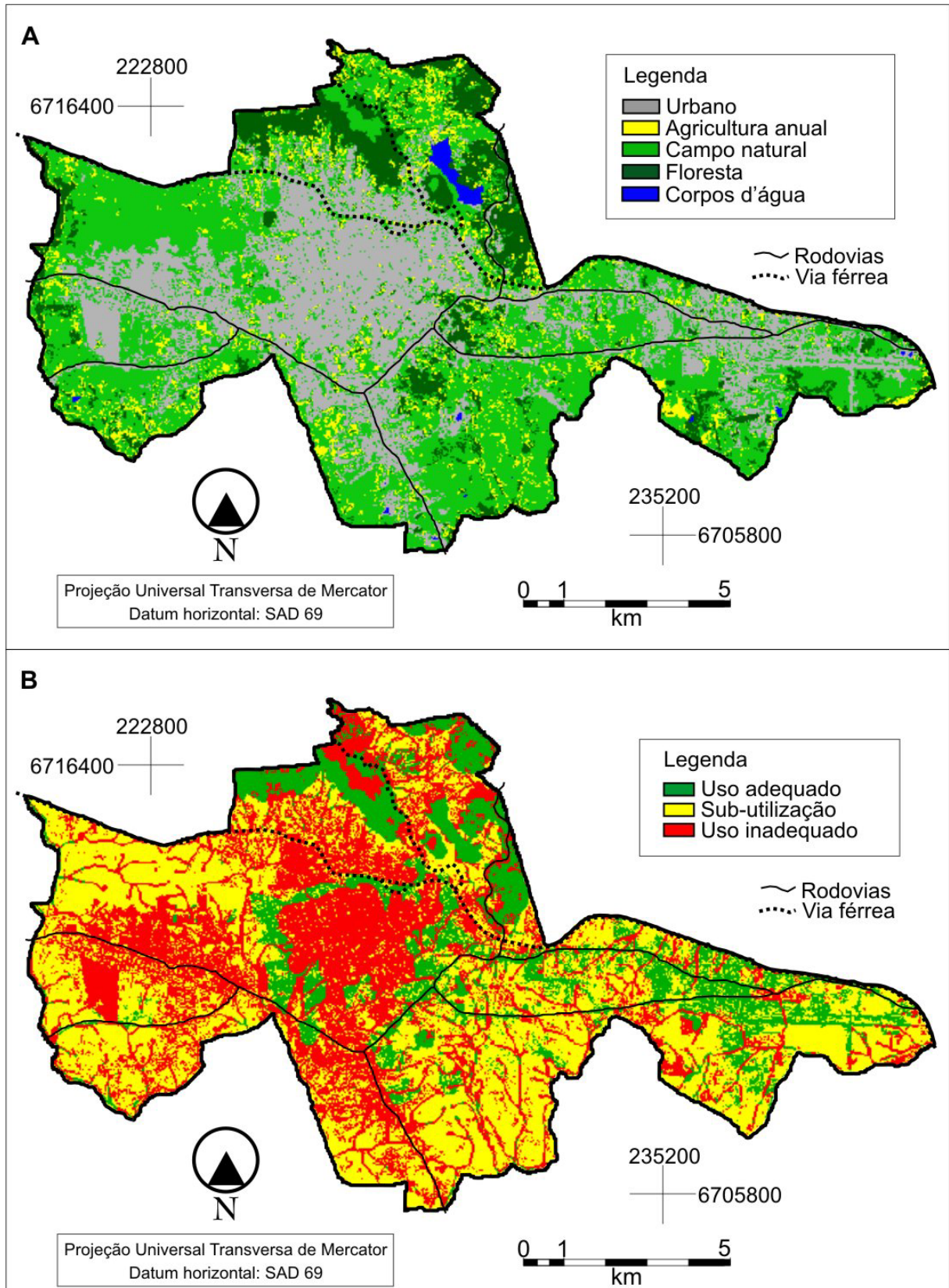


Figura 6. Mapa de uso das terras em 1995 (A) e mapa de conflitos de uso das terras em 1995 (B), para o perímetro urbano de Santa Maria, RS.

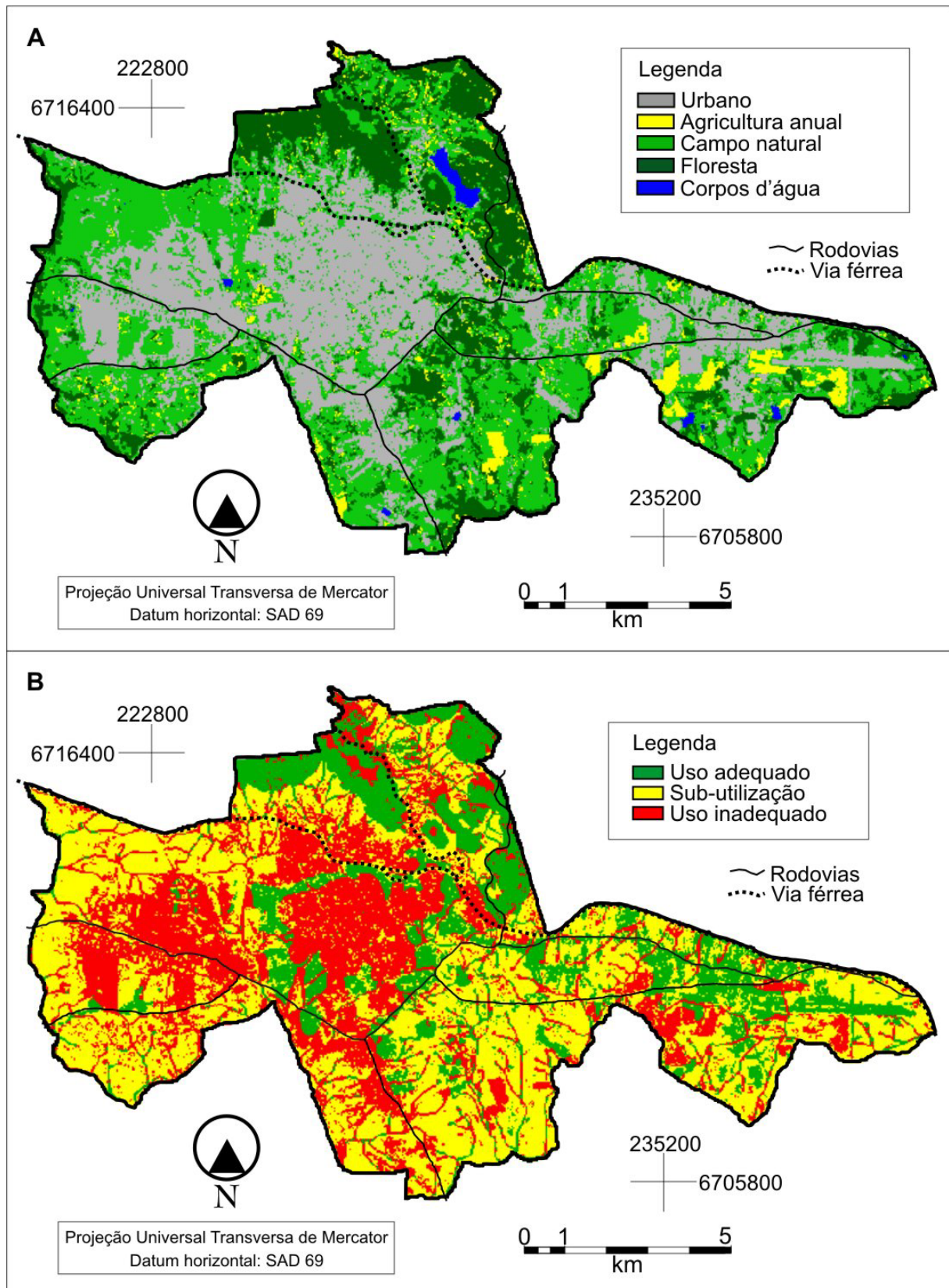


Figura 7. Mapa de uso das terras em 2002 (A) e mapa de conflitos de uso das terras em 2002 (B), para o perímetro urbano de Santa Maria, RS.

4.4. CONCLUSÕES

Quanto ao uso das terras no PUSM, verificou-se, no período de 1975 a 2002, que a expansão urbana no município tem absorvido áreas naturais, principalmente ambientes de campos, crescendo de 9 para 33 % no período analisado. Os dados de conflitos de uso das terras indicaram que o uso inadequado das áreas tem associação com o crescimento populacional e das áreas construídas sobre locais frágeis. O uso inadequado das terras teve crescimento de 19 % em 1975 até 37 % em 1995, reduzindo então para 33 % em 2002. Essa redução deu-se em partes devido ao aumento das áreas de floresta na última década no PUSM. Os principais problemas de conflitos ambientais do uso das terras estão relacionados com a utilização de áreas que apresentam material geológico do tipo aquífero, suscetível a contaminação, e a utilização de áreas várzeas com solos hidromórficos que também apresentam fragilidades quanto ao uso urbano.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação**. NBR 13.896. São Paulo, 1997. 21 p.

ALEXANDROVSKAYA, E.I.; ALEXANDROVSKIY, A.L. History of the cultural layer in Moscow and accumulation of anthropogenic substances in it. *Catena*, v.41, n.1-3, p.249- 259, 2000.

ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. Ch.; ANDRADE, H. Sistemas de informação geográfica na avaliação de impactos ambientais provenientes de atividades agropecuárias. . In: **Agropecuária e ambiente**, Belo Horizonte, v. 21, n. 202, p. 99-109, janeiro/fevereiro. 2000. (Informe Agropecuário).

AZEVEDO, A. C. Funções ambientais do solo. In: AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. de A. **Solos & Ambiente - I Fórum**. Santa Maria : Pallotti, 2004. p. 07 - 22.

AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R.S.D. **Solos e Ambiente: uma introdução**. Santa Maria : Pallotti. UFSM, 2004. 100 p.

BECKER, E. L. S. **Uso do solo urbano no setor norte do bairro Camobi, Santa Maria - RS: 1966 - 1992**. 1996. 73 f. Monografia (Especialização em Interpretação de Imagens Orbitais e Sub-orbitais) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria.

BELÉM, J. **História do município de Santa Maria: 1797 - 1933**. Santa Maria: UFSM, 1989. 277 p.

BERGER, M. G. **Uso do sensoriamento remoto na hierarquização das áreas de risco ambiental na sub-bacia hidrográfica do arroio Cadena, município de Santa Maria, RS**. 2001. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria.

BLUME, H.P. Classification of soils in urban agglomerations. *Catena*, v.16, n.3, p.269-275, 1989.

BOLFE, E. L.; PEREIRA, R. S.; MADRUGA, P. R. A. Geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicados à análise de recursos florestais. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 105 - 111, 2004.

BRASIL. **Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 – Código Florestal**. 1965. Disponível na internet: <<http://www.mma.gov.br/conama/>> Acesso em 17 set. 2004.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Política nacional de desenvolvimento urbano**. 2004. 92 p. (Cadernos MCidades Desenvolvimento 1). Disponível na internet: <<http://www.cidades.gov.br/>> Acesso em 14 jan. 2005.

BURIOL, G. A. ESTEFANEL, V.; FERREIRA, M. et al. Cartas mensais e anuais das temperaturas médias, das médias das temperaturas máximas e das médias das temperaturas mínimas do estado do Rio Grande do Sul. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 9, 1979. (Suplemento).

BURROUGH, P. A., McDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. New York : Oxford university Press, 1998, 333 p.

CALIJURI, M. L.; MELO, A. L. O.; LORENTZ, J. F. Identificação de áreas para implantação de Aterros sanitários com uso de análise estratégica de decisão. **Informática Pública**, v. 4, n. 2, p. 231 - 250, 2002.

CALIJURI, M. L.; RÖHM, S. A. **Sistemas de informações geográficas**. Viçosa : CCET/DEC – UFV, 1994. 34 p.

CALLAI, H. C. A cidade e a (re)criação da relação homem – natureza. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 4, n. 7, julho/dezembro, p. 43-53, 1993.

CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M. et al. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

- CANEPARO, S. C. Análise da dinâmica espacial da ocupação antrópica em Paranaguá/PR (1952 - 1996), através do uso de sistema de informações geográficas. **R. RA'EGA**, Curitiba, n. 4, p. 111-130, 2000.
- CARVER, A. J. **Fotografia aérea para planejadores de uso da terra**. Brasília : MA/SNAP/SRN/CCSA, 1988. 77p.
- CASCO, G.; PASIG, R.; PEKHOLTZ, F. et al. **Aplicacion de un sistema de informacion geografico para la ubicacion de areas para un relleno sanitario (proyecto ordazur), Paraguay**. In: Simposio Internacional de Geologia Ambiental para Planificación del Uso del Territorio. Puerto Varas, 2002. p. 26 - 30
- CHRISMAN, N. R. **Exploring geographic information systems**. New York : John Wiley, 1997.
- CLINE, M. G. Basic principles of soil classification. **Soil Science**, v. 67, p. 81 - 91, 1949.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução N° 303, de 20 de março de 2002 – Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de áreas de preservação permanente**. Disponível na internet: <<http://www.mma.gov.br/conama>> Acesso em 15 set 2004.
- CRAUL, P.J. **Urban soils: Applications and practices**. New York : John Wiley, 1999. 366p.
- D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2 ed., São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. 390 p. (publicação IPT 2622)
- DA COSTA, S. M. F.; CINTRA, J. P. Environmental analysis of metropolitan areas in Brazil. **Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 54, p. 41-49, 1999.
- DAI, F. C.; LEE, C. F.; ZHANG, X. H. GIS - based geo - environmental evaluation for urban land - use planning: a case study. **Engineering Geology**, v. 61, p. 257 - 271, 2001.
- DALMOLIN, R. S. D. KLAMT, E.; PEDRON, F. de A. et al. Relação entre as características e o uso das informações de levantamentos de solos de diferentes escalas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1479 – 1486, 2004.
- DALMOLIN, R. S. D. **Matéria orgânica e características físicas, químicas, mineralógicas e espectrais de Latossolos de diferentes ambientes**. 2002. 151 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. de A. Distribuição dos solos no ambiente. In: AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. de A. **Solos & Ambiente - I Fórum**. Santa Maria : Pallotti, 2004. p. 23 - 39.
- DA SILVA, R. S.; MAGALHÃES, H. Ecotécnicas urbanas. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 4, n. 7, julho/dezembro, p. 33-42, 1993.
- DE KIMPE, C.R.; MOREL, J.L. Urban soil management: a growing concern. **Soil Science**, v.165, n.1, p.31-40, 2000.
- DEMATTÊ, J. A. M. et al. Visible - NIR reflectance: a new approach on soil evaluation. **Geoderma**, Amsterdam, v. 121, p. 91-112, 2004.
- DENT, D.; YOUNG, A. **Soil survey and land evaluation**. London : E & FN Spon, 1993. 284 p.
- EL ARABY, M. Urban growth and environmental degradation, the case of Cairo, Egypt. **Cities**, V. 19, n. 6, p. 389 - 400, 2002.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro : EMBRAPA, 1997. 221 p.
- EMBRAPA. **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos**. Brasília : EMBRAPA, 1995. 116 p.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. Brasília : EMBRAPA, 1999. 412 p.

FAO (Roma, Itália). **A Framework for land evaluation**. Wageningen: International Institute for Land Reclamation and Improvement, 1976. 87p. (ILRI Publication, 22).

FAO. **Soil Map of the World. Revised Legend**. Rome: FAO, 1994.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Roessler. **NORMA TÉCNICA Nº. 03/95** - Dispõe sobre a classificação dos empreendimentos de processamento e disposição final no solo, de resíduos sólidos urbanos, quanto à exigibilidade de estudo de impacto ambiental e relatório de impacto ambiental (EIA/RIMA) no licenciamento ambiental no estado do Rio Grande do Sul. 1995. Disponível na Internet: <<http://www.fepam.rs.gov.br>> Acesso em 15 jan. 2005.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo : Oficina de Textos, 2002. 97p.

FORMAGGIO, A.R.; ALVES, D.S.; EPIPHANIO, J.C.N. Sistemas de Informações Geográficas na obtenção de aptidão agrícola e de taxa de adequação de uso das terras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 249-256, 1992.

FREITAS, C. G. L.; BRAGA, T. O.; BITAR, O. Y. et al. **Habitação e meio ambiente - abordagem integrada em empreendimentos de interesse social**. São Paulo : IPT, 2001. 239 p. (Publicação IPT 2768).

GE, Y.; MURRAY, P.; WENDERSHOT, W.H. Trace metal speciation and bioavailability in urban soils. **Environmental Pollution**, v.107, p.137-144, 2000.

GHERARDI, B.; VIDAL-TORRADO, P.; FARIA, L. E. O. et al. **Levantamento pedológico como base para o planejamento urbano no município de Piracicaba**. In: XXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Ribeirão Preto, SP. Anais (CD-ROM)... Ribeirão Preto, 2003. 4p.

GODOY, M. J. S.; LOPES-ASSAD, M. L. Aptidão agrícola de terras com estimativa de risco climático para a cultura do milho utilizando geoprocessamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 685 - 994, 2002.

HALL, G. F. Pedology and geomorphology. In: WILDING, L. P.; SMECK, N. E.; HALL, G. F. **Pedogenesis and taxonomy - I. concepts and interactions**. Amsterdam : Elsevier, 1983. p. 117 - 140.

HARA, Y.; TAKEUCHI, K.; OKUBO, S. Urbanization linked with past agricultural land use patterns in the urban fringe of a deltaic Asian mega-city: a case study in Bangkok. **Landscape and Urban Planning**, 2004. (no prelo)

HARRIS, P. M.; VENTURA, S. J. The integration of geographic data with remotely sensed imagery to improve classification in an urban area. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 61, p. 8993-8998, 1995.

HATHOUT, S. The use of GIS for monitoring and predicting urban growth in East and West St Paul, Winnipeg, Manitoba, Canada. **Journal of Environmental Management**, v. 66, p. 229 - 238, 2002.

HILLER, D.A. Properties of urbic anthrosols from an abandoned shunting yard in the Ruhr area, Germany. **Catena**, v.39, n.4, p.245-266, 2000.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Resultados gerais do Censo Demográfico 1991, Contagem da população - 1996, Censo Demográfico 2000 - resultados do universo**. Disponível na internet: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/>> Acesso em 13 jan. 2005.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados do Censo Demográfico 2000 para o município de Santa Maria, RS**. Disponível na internet: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em 13 jan. 2004.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas, release 4.0 - Sistema de ajuda on-line do SPRING**. 2003. CD-ROM.

ISBELL, R.F. **The australian soil classification**. Collingwood: CSIRO, 1996. 151p.

ISSSWG RB. International Society of Soil Science Working Group RB. **World Reference Base for Soil Resources: Introduction**. Leuven: Acco : ISRIC, Rome: FAO, 1998. 79p.

JIM, C.Y. Urban soil characteristics and limitations for landscape planting in Hong Kong. **Landscape and Urban Planning**, v.40, p.235-249, 1998.

KELLER, E. A. **Environmental geology**. 7 ed. Upper Saddle River : Prentice Hall, 1996. 560 p.

KELLOGG, C. E. Why a new system of soil classification? **Soil Science**, v. 69, n. 1, p. 1 - 5. 1963.

KLAMT, E.; DALMOLIN, R. S. D.; GONÇALVES, C. N. et al. **Proposta de normas e critérios para execução de levantamentos semi-detalhados de solos e para avaliação da aptidão agrícola das terras**. Pelotas: NRS-SBCS, 2000. 44p. (Boletim Técnico, 5)

KLINGEBIEL, A.A.; MONTGOMERY, P.H. **Land capability classification**. Washington, D.C.: USDA-Soil Conservation Service, 1961. 21p. (USDA. Agriculture Handbook, 210).

LAMMERS, D. A.; JOHNSON, M. G. Soil mapping concepts for environmental assessment. In: MAUSBACH, M. J.; WILDING, L. P. **Spatial variabilities of soils and landforms**. Madison : SSSA, 1991. (Special publications N. 28), p. 149 – 160.

LEMOS, R. C. de; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 4. ed. Viçosa : SBCS, 2002. 83 p.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI Jr., R.; BERTOLINI, D. et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas : SBCS, 1991. 175 p.

LOGSDON, M. G.; BELL, E. J.; WESTERLUND, F. V. Probability mapping of land use change: a GIS interface for visualizing transition probabilities. **Computer, Environment and Urban Systems**, v. 20, n. 6, p. 389 - 398, 1996.

LOPES-ASSAD, M. L. Uso de um sistema de informações geográficas na determinação da aptidão agrícola de terras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 133 - 139, 1995.

LÓPEZ, E.; BOCCO, G.; MENDOZA, M. et al. Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe: a case in Morelia city, Mexico. **Landscape and Urban Planning**, v. 55, p. 271 - 285, 2001.

LU, Y. et al. Concentrations and chemical speciations of Cu, Zn, Pb and Cr of urban soils in Nanjing, China. **Geoderma**, v.1976, p.1-11, 2003.

MACIEL FILHO, C. L. et al. **Mapa geológico da folha de Camobi**. Santa Maria : Imprensa Universitária - UFSM, 1988a. 10 p.

MACIEL FILHO, C. L. Uma proposta para evitar a poluição por lixo e esgoto doméstico. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 10, p. 49 - 56, 1988b.

MACIEL FILHO, C. L. et al. **Mapa geológico da folha de Santa Maria**. Santa Maria : Imprensa Universitária - UFSM, 19__.

MACIEL FILHO, C. L. **Carta geotécnica de Santa Maria**. Santa Maria : Imprensa Universitária - UFSM, 1990. 21 p.

MADRID, L.; DÍAZ-BARRIENTOS, E.; MADRID, F. Distributions of heavy metals contents of urban soils in parks of Seville. **Chemosphere**, v.49, p.1301-1308, 2002.

MANTA, D.S. ANGELONI, M.; BELLANCA, A. et al. Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy. **The Science of the Total Environment**, v.300, p.229- 243, 2002.

MILLER, R. B.; SMALL, C. Cities from the space: potencial applications of remote sensing in urban environmental research and policy. **Environmental Science & Policy**, v. 267, p. 1 - 9, 2003.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2. ed. Viçosa : Editora da UFV, 2003. 299p.

MULDERS, M. A. **Remote sensing in soil science**. Elsevier : Amsterdam, 1987. (Developments in soil science 15).

NASCIMENTO, P. C.; GIASSON, E.; INDA Jr., A. V. Aptidão de uso dos solos e meio ambiente. In: AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. de A. **Solos & Ambiente - I Fórum**. Santa Maria : Pallotti, 2004. p. 41 - 57.

NAVAS, A.; MACHIN, J. Spatial distribution of heavy metals and arsenic in soils of Aragon (northeast Spain): controlling factors and environmental implications. **Applied Geochemistry**, v. 17, n. 8, p. 961 - 973, 2002.

NOVO, E. M. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo : Edgard Blücher, 1992. 308 p.

ORMSBY, J. P. Evaluation of natural and man-made features using Landsat TM data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 13, n. 2, p. 303 – 318, 1992.

PEDRON, F. de A.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C. et al. Solos Urbanos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1647 – 1653, 2004a.

PEDRON, F. de A.; DALMOLIN, R. S. D.; BOTELHO, M. R. et al. **Levantamento semidetalhado de solos, adequação metodológica e determinação dos conflitos de uso dos solos no perímetro urbano de Santa Maria**. In: XV REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, Santa Maria, RS. Anais (CD-ROM)... Santa Maria, 2004b. 4p.

PEDRON, F. de A.; MIGUEL, P.; RODRIGUES, R. B. et al. **Variabilidade e a aptidão agrícola de Argissolos na Depressão Central do Rio Grande do Sul**. In: V REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004, Florianópolis, SC. Anais (CD-ROM)... Florianópolis, 2004c. 4p.

PEDRON, F. de A.; RODRIGUES, R. B.; MIGUEL, P. et al. **Potencial e situação de uso agrícola de Alissolos na Depressão Central do Rio Grande do Sul**. In: V REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2004, Florianópolis, SC. Anais (CD-ROM)... Florianópolis, 2004d. 4p.

PEREIRA, L. C. **Aptidão agrícola das terras e sensibilidade ambiental: proposta metodológica**. Campinas, 2002. 135 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual de Campinas.

PINHEIRO, R. J. B. Impactos das atividades humanas sobre o solo - atividades urbanas. In: AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. de A. **Solos & Ambiente - I Fórum**. Santa Maria : Pallotti, 2004. p. 119 - 144.

PIROLI, E. L.; BECKER, E. L. S.; BOLFE, E. L. et al. Análise do uso da terra na microbacia do arroio do Meio - Santa Maria - RS, por sistema de informações geográficas e imagens de satélite. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 3, p. 407 - 413, 2002.

POPKOV, S.; DEMENT'EVA, E. Soil properties effect on the development and distribution of urban vegetative cover of the forest zone. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 17., 2002, Bangkok, Thailand. **Anais...** Bangkok, 2002. v.5, p.1672.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. Rio de Janeiro : EMBRAPA-CNPS, 1995. 65 p.

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, L. Ch. **Aptidão agrícola das terras do Brasil: potencial de terras e análise dos principais métodos de avaliação**. Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 1999. 36 p. (Embrapa Solos. Documentos; 1).

ROBAINA, L. E.; BERGER, M. G.; DE CRISTO, S. S. V. et al. Análise dos ambientes urbanos de risco do município de Santa Maria – RS. **Ciência & Natura**, Santa Maria, v. 23, p. 139-152, 2001.

ROSSATO, R. Cidades brasileiras: a urbanização patológica. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 7, p. 23-32, 1993.

RS. Governo do Estado do Rio Grande do Sul. **Inventário florestal contínuo do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre : SEMA, 2002. 15 p.

SANTA MARIA. Lei Municipal Nº. 4498/01, de 28/12/2001. **Altera a redação da lei municipal nº 4120/97, de 19-12-1997, cria o distrito de santo antão e dá outras providências**.

SANTOS, F. J. dos; KLAMT, E. Gestão agroecológica de microbacias hidrográficas através de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto - caso Fazenda Pantanoso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1785 - 1792, 2004.

SBCS. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **SBCS discute o futuro da pedologia no Brasil**. Boletim Informativo, Viçosa, v. 24, n. 4, 1999. 30 p.

SBCS. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre : SBCS-NRS, 2004. 400 p.

SCHERER, C. M. dos S.; FACCINI, U. F.; LAVINA, E. L. Arcabouço estratigráfico da mesozóico da Bacia do Paraná. In: HOLZ, M; DE ROS, L. F. **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CIGO/UFRGS. 2000, p. 335-354.

SCHLEUB, U.; WU, Q.; BLUME, H. Variability of soils in urban and periurban areas in Northern Germany. **Catena**, v.33, p.255-270, 1998.

SMALL, C. Multitemporal analysis of urban reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 81, p. 427– 442, 2002.

SMECK, N. E.; RUNGE, E. C. A.; MACKINTOSHI, E. E. Dynamics and genetic modelling of soil systems. In: WILDING, L. P.; SMECK, N. E.; HALL, G. F. **Pedogenesis and taxonomy - I. concepts and interactions**. Amsterdam : Elsevier, 1983. p. 51 - 81.

SPAARGAREN, O.C. Other systems of soil classification. In. SUMMER, M.E. **Handbook of soil science**. Boca Raton : CRC, 2000. Section E, p.137-174.

STAT SOFT, Inc. **Statistica (Data Analysis Software System)**, version 6, 2001. www.statsoft.com.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre : Emater/RS – UFRGS, 2002. 126 p.

STROGANOVA, M. N.; AGARKOVA, M. G. Urban soils: experimental study and classification (exemplified by the soils of southwestern Moscow). **Eurasian Soil Science**, v. 25, n. 3, p. 59 - 69, 1993.

THOMLINSON, J. R.; RIVERA, L. Y. Suburban growth in Luquillo, Puerto Rico: some consequences of development on natural and semi-natural systems. **Landscape and Urban Planning**, v. 49, p. 15 - 23, 2000.

TREITZ, P. M.; HOWARTH, P. J.; GONG, P. Application of satellite and GIS technologies for land cover and land use mapping at rural–urban fringe: a case study. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 58, p. 4439 – 4448, 1992.

URRUTIA, R. A. **Urbanização: crescimento da área urbana, espaços ociosos e especulação imobiliária no município de Santa Maria - 1980/2000**. 2002. 65f. Monografia (Especialização em História do Brasil) - Programa de Pós-graduação em História do Brasil, Universidade Federal de Santa Maria.

WENTZ, E. A.; STEFANOV, W. L.; GRIES, C. et al. Land use and land cover mapping from diverse data sources for an arid urban environments. **Computers, Environment and Urban Systems**, 2004 (no prelo).

WU, C. Normalized spectral mixture analysis for monitoring urban composition using ETM+ imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 93, p. 480-492, 2004.