

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOMÁTICA**

**EVOLUÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA
E SUA CORRELAÇÃO
COM A DECLIVIDADE DO TERRENO,
EM SANTA MARGARIDA DO SUL – RS**

Aline Nogueira Palmeira

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

**EVOLUÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA,
E SUA CORRELAÇÃO COM A DECLIVIDADE DO
TERRENO, EM SANTA MARGARIDA DO SUL – RS**

Aline Nogueira Palmeira

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geomática da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Especialista em Geomática**

Santa Maria, RS, Brasil.

2013

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Geomática**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a monografia de especialização intitulada

**EVOLUÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA,
E SUA CORRELAÇÃO COM A DECLIVIDADE DO TERRENO,
EM SANTA MARGARIDA DO SUL – RS**

elaborada por
Aline Nogueira Palmeira

como requisito parcial para obtenção do Título de
Especialista em Geomática

COMISSÃO EXAMINADORA:

José Américo de Mello Filho, Dr.
(Presidente/Orientador)

Leandro Vinícius da Luz, MSc.

Valéria Quevedo Garcia, MSc.

Santa Maria, 11 de novembro de 2013.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por ter me dado forças para enfrentar todas as adversidades que a vida impõe, e conseguir superá-las.

À minha família e amigos, pelo estímulo, companheirismo e por partilharem comigo esta conquista.

Ao Prof. Dr. José Américo de Mello Filho, pelo acompanhamento no processo de elaboração desse trabalho, pela sua ajuda, paciência, seriedade e compreensão.

À Universidade Federal de Santa Maria e seu Programa de Pós-Graduação em Geomática, pela oportunidade proporcionada à minha formação acadêmica e pela infraestrutura de apoio.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Geomática, pelo imenso conhecimento transmitido, e por toda atenção a mim dispensada.

RESUMO

Monografia de Especialização
Programa de Pós-Graduação em Geomática
Universidade Federal de Santa Maria

EVOLUÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA, E SUA CORRELAÇÃO COM A DECLIVIDADE DO TERRENO, EM SANTA MARGARIDA DO SUL – RS

AUTORA: ALINE NOGUEIRA PALMEIRA
ORIENTADOR: JOSÉ AMÉRICO DE MELLO FILHO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 11 de novembro de 2013.

A aplicação do Sensoriamento Remoto permite acompanhar as mudanças do espaço ao longo do tempo. Este trabalho objetiva a análise da evolução do uso e cobertura da terra no município de Santa Margarida do Sul – RS, com a classificação/processamento de imagens Landsat-5/TM através de uma avaliação multitemporal, correlacionando o uso da terra à declividade do terreno. A metodologia se constituiu da análise de uma série temporal distinta entre os anos de 1985 e 2010, gerando informações representativas da paisagem possibilitando a distribuição de classes de uso e cobertura da terra em relação à hipsometria do terreno. A análise espacial baseou-se na linguagem LEGAL, executada no *software* SPRING, no qual também foram elaborados mapas temáticos, utilizando o método de classificação digital por máxima verossimilhança (MAXVER). Neste processo, foram gerados dados que possibilitaram a análise espacial do uso e cobertura da terra, definindo os parâmetros necessários para avaliar a dinâmica das evoluções florestal e agrícola. Os principais resultados mostraram a predominância dos campos, ocupando 47% da área na última data analisada, a vasta disseminação da cultura agrícola, e também a redução de áreas florestais em 1.346,070 ha. Segundo a correlação entre o uso e cobertura da terra e as classes de declividade, foram observados alguns conflitos ambientais ocasionados pelas práticas agrícolas em locais inadequados. Conclui-se que a análise temporal do município, fazendo uso da classificação digital de imagens, se mostrou relevante para identificar os processos responsáveis pelas mudanças, e suas intensidades, ocorridas durante o período analisado, de 25 anos.

Palavras-chave: Uso e cobertura da terra. Sensoriamento remoto. Classificação digital de imagens. Avaliação multitemporal.

ABSTRACT

Monograph of Expertise
Pos-Graduation Program in Geomatics
Federal University of Santa Maria

EVOLUTION OF USE AND LAND COVER, AND ITS CORRELATION WITH A DECLIVITY OF TERRAIN, IN SANTA MARGARIDA DO SUL –RS.

AUTHOR: ALINE NOGUEIRA PALMEIRA

ADVISOR: JOSÉ AMÉRICO DE MELLO FILHO

Place and date of the defense: Santa Maria, november¹¹, 2013.

The remote sensing allows to follow the transformations of space over time. This work aims to analyze the evolution of the use and land cover in the municipality of Santa Margarida do Sul - RS, with the classification / image processing Landsat-5/TM through an assessment multitemporal correlating land use to declivity of terrain. The methodology consisted in the analysis of a distinct temporal series between the years 1985 and 2010, generating representative landscape information enabling the distribution of classes of land cover and land use in relation to hypsometry of terrain. The spatial analysis was based on LEGAL language, running on SPRING software, with which were also prepared thematic maps, using the method of classification by maximum verisimilitude (GML). In this process, were generated data that allowed the use and land cover spatial analysis, thereby defining the parameters necessary to evaluate the dynamics of forest and agricultural developments. The main results showed the predominance of grazing in the regional landscape, occupying 47% of the area, in the last date, the wide dissemination of the crop fields, and also the reduction of forest areas and regeneration, at 1.346,070 ha. According to the correlation between use and land cover and slope classes were observed some environmental conflicts caused by agricultural practices in inappropriate places. It is concluded that the temporal analysis of the municipality, using the classification of digital images proved relevant to identify the processes responsible for the changes that occurred during the analyzed period, and also the intensity.

Key-words: Use and land cover. Remote sensing. Digital image classification. Assessment multitemporal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização do município de Santa Margarida do Sul.	24
Figura 2- Composições espectrais coloridas B1G2R3, B2G3R4 e B3G4R5 das imagens Landsat 5 – TM, município de Santa Margarida do Sul – RS em 14/06/1985 (a) e 30/04/2010 (b).....	27
Figura 3- Mapa hipsométrico do município de Santa Margarida do Sul	34
Figura 4- Mapa clinográfico do município de Santa Margarida do Sul.	34
Figura 5- Mapa de uso e cobertura da terra em julho de 1985.....	39
Figura 6- Mapa de uso e cobertura da terra em abril de 2010.	39
Figura 7- Mapa da variação florestal entre julho de 1985 e abril de 2010.....	42
Figura 8- Mapa da variação agrícola entre julho de 1985 e abril de 2010.....	42
Figura 9- Mapa de classes de declividade x uso e cobertura da terra em julho de 1985.	45
Figura 10- Mapa de classes de declividade x uso e cobertura da terra em abril de 2010.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Qualidade da classificação segundo intervalo do coeficiente Kappa.	15
Tabela 2- Classes de declividade do solo	30
Tabela 3- Quantificação das classes hipsométricas.....	32
Tabela 4- Quantificação das classes de declividade do solo	33
Tabela 5- Quantificação do uso e cobertura da terra em julho de 1985.....	36
Tabela 6- Quantificação do uso e cobertura da terra em abril de 2010.....	37
Tabela 7- Alteração para cada classe de uso e cobertura da terra nos períodos de julho de 1985 a abril de 2010.	37
Tabela 8- Quantificação da variação florestal entre julho de 1985 e abril de 2010. ..	40
Tabela 9- Quantificação da variação agrícola entre julho de 1985 e abril de 2010. ..	41
Tabela 10- Quantificação das classes temáticas de acordo com as classes hipsométricas.	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1 Sensoriamento remoto.....	11
2.1.1 Processamento digital de imagens (PDI)	12
2.2 Sistema de Informações Geográficas (SIG)	15
2.3 Geoprocessamento	17
2.4 Monitoramento e análise do uso e cobertura da terra	18
2.5 Missão SRTM	21
3 MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1 Localização e caracterização da área de estudo.....	23
3.2 Materiais	24
3.3 Metodologia	25
3.3.1 Georreferenciamento das imagens de satélite.....	25
3.3.2 Processamento digital	26
3.3.3 Classificação digital do uso da terra.....	28
3.3.4 Confecção de mapas temáticos	29
3.3.4.1 Mapa hipsométrico	29
3.3.4.2 Mapa clinográfico	29
3.3.5 Análise em Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico (LEGAL)	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
4.1 Mapa hipsométrico	32
4.2 Mapa clinográfico.....	33
4.3 Uso e cobertura da terra em 1985	35
4.4 Uso e cobertura da terra em 2010	36
4.5 Variação Florestal.....	40
4.6 Variação Agrícola	41
4.7 Classes de declividade x uso e cobertura da terra	43
5 CONCLUSÃO.....	46
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1 INTRODUÇÃO

De acordo com estudos recentes, cada vez mais a sociedade tem manifestado crescente insatisfação com as mudanças ambientais globais, principalmente aquelas associadas à degradação ambiental e às práticas não sustentáveis de uso dos recursos naturais. Na medida em que o uso irracional desses recursos compromete a sustentabilidade do planeta, a existência humana passa a depender não apenas da luta pela sobrevivência em si, mas também da conservação racional desses recursos, através da preservação e conservação da biodiversidade e do equilíbrio entre ecossistemas e espécies.

Os trabalhos que abordam a análise multitemporal têm-se intensificado, possibilitados pelas características espectrais das imagens de satélite. Esses métodos permitem monitorar e auxiliar os trabalhos de extensão agrícola, como também avaliar a evolução dos desmatamentos e o crescimento urbano.

Os recursos ambientais desempenham um papel estratégico na determinação do progresso econômico, social e cultural de uma nação ou de uma região, e a aplicação do Sensoriamento Remoto, pela sua capacidade intrínseca de detecção de mudanças na cobertura e uso do solo, torna-se muito importante, juntamente com suas técnicas, na análise ambiental. As imagens orbitais são utilizadas com frequência na obtenção de dados sobre o espaço geográfico, bem como no monitoramento, e assim auxiliando nos processos de decisão que envolvam a gestão e o planejamento territorial.

Dados provenientes de sensores remotos, aliados ao uso dos Sistemas de Informações Geográficas, têm sido muito utilizados para o mapeamento, monitoramento, caracterização, estudo da evolução do uso e cobertura da terra, entre outras atividades, uma vez que fornecem informações periódicas, de extensas áreas e com menor custo em relação às metodologias tradicionais.

Neste contexto, a análise temporal das mudanças de uso do solo, pela aplicação de técnicas de Geoprocessamento, permite a identificação dos tipos, extensão e localização das alterações nas características dos espaços geográficos e também a proposição de cenários, em função das condições atuais de determinado ambiente.

O ordenamento de um território exige o conhecimento de suas características fisiográficas e elementos topográficos. Para isso os Modelos Digitais de Elevação são muitos utilizados nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), e possibilitam assim o ordenamento e planejamento do território, urbano e rural, entre outras aplicações.

Em muitos estudos o aperfeiçoamento do Sensoriamento Remoto, aliado a técnicas de Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica (SIG), tem proporcionado uma identificação mais precisa de mudanças na estrutura dos ecossistemas, contribuindo para avaliar os efeitos das alterações ambientais induzidas pelas mudanças climáticas, uso intensivo do solo e outros impactos antrópicos. Além disso, é visto que o Geoprocessamento pode fornecer, além de informações sobre a natureza e direção das mudanças, indicações das principais forças-atuantes.

A análise e o mapeamento do uso da terra mostram-se de extrema importância, pois visam identificar as mudanças devidas a fatores antrópicos e naturais, buscando uma maior eficiência nas elaborações de planos de manejo de recursos naturais, delimitação de áreas prioritárias para a conservação, ou ainda na realização de estudos que envolvam tópicos sobre mudanças globais, modelagens de ciclos biogeoquímicos, estimativas de emissão de carbono, dentre outros.

O presente trabalho apresenta como área de estudo o município de Santa Margarida do Sul, Rio Grande do Sul, tendo como objetivo geral é integrar imagens de radar SRTM com as imagens do satélite Landsat 5 – TM, dos anos de 1985 e 2010, para assim realizar a monitoria das alterações do uso da terra no município durante esse período. Assim como, de forma específica: Realizar o mapeamento temático dos recursos naturais identificáveis na área municipal, através da classificação digital de imagens orbitais; Quantificar as tipologias de usos da terra nas datas estudadas; Identificar transições nos padrões de uso e cobertura da terra, através da análise multitemporal de imagens orbitais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sensoriamento remoto

Entre as ferramentas mais importantes, existentes hoje, para detectar mudanças na cobertura da terra, e mapeá-las, estão os produtos do sensoriamento remoto obtidos por plataformas orbitais e os sistemas de informações geográficas.

Nas últimas décadas, o sensoriamento remoto tornou-se uma importante fonte de informações para monitorar os recursos naturais da Terra, devido à possibilidade de se adquirirem dados sobre grandes extensões geográficas, e assim, permitir uma melhor compreensão dos processos que ocorrem nessas áreas (PEREIRA et al.,1994).

Rocha (2000) define o Sensoriamento Remoto como a aplicação de dispositivos que, colocados em aeronaves ou satélites, permitem obter informações sobre objetos ou fenômenos na superfície da Terra, sem contato físico com eles.

O mesmo autor diz ainda que, com a evolução de sensores mais potentes, as imagens obtidas apresentam resoluções cada vez melhores. Esta característica, associada às inovações das técnicas de extração de informação no processamento de imagens e ainda à sua periodicidade, faz por aumentar sua utilização, nas mais diversas áreas de conhecimento, e possibilitar o monitoramento das mais diversas situações.

Fonseca (2001) complementa a conceituação, ao salientar que a técnica de Sensoriamento Remoto é uma importante ferramenta na obtenção de dados básicos e espaciais, por possibilitar a realização de tarefas de proteção ambiental, auxiliar em decisões de planejamento, e fornecer estruturas básicas para a observação do meio ambiente.

Os objetos de interesse na superfície da terra, como a vegetação, a água, o solo e todo tipo de obra construída pelo homem, refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética em proporções que variam com o comprimento de onda, conforme as características bio-físico-químicas dos elementos constituintes desses objetos (FLORENZANO, 2002).

Para a obtenção de tais informações, a radiação eletromagnética é o meio pelo qual os dados do objeto chegam ao sensor, e, por meio da sua frequência, intensidade e polarização, transformam-se em informação. E a

informação é poderoso instrumento de apoio às tomadas de decisão. As interações entre a radiação eletromagnética e os objetos variam ao longo do espectro eletromagnético (ROCHA, 2000).

Novo (1998) diz que a complexidade das técnicas atuais faz com que cada vez mais um maior número de pessoas de diferentes áreas participe do processo de transformação da energia, registrada pelo sensor, em informação. A autora ainda divide o Sensoriamento Remoto em dois subsistemas importantes: subsistema de coleta de dados e subsistema de análise de dados.

O funcionamento do sistema de coleta de dados está condicionado a algumas questões: existência de fonte de radiação, propagação da radiação pela atmosfera, incidência de radiação sobre a superfície terrestre, ocorrência de interações entre a radiação e os objetos da superfície, e produção de radiação, que retorna ao sistema sensor após propagar-se pela atmosfera.

A intensidade de energia que chega ao sensor é posteriormente transformada em um sinal passível de interpretação por parte dos sistemas de análise de dados, que incluem o processamento fotográfico, o processamento eletrônico do sinal e a modelagem.

Os sensores captam informações resultantes da interação de energia eletromagnética com os objetos e fenômenos da superfície terrestre. Essa energia pode ser refletida, transmitida, absorvida ou emitida pela superfície e, a partir destas interações, derivar informações importantes sobre características físicas (dimensão, forma, temperatura, cor) e químicas (composição) dos alvos em estudo (LAZZAROTO, 2005).

2.1.1 Processamento digital de imagens (PDI)

Por Processamento Digital de Imagens (PDI) entende-se a manipulação de uma imagem por computador, de modo que a entrada e a saída do processo sejam imagens. O objetivo de se usar processamento digital de imagens é melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos (INPE, 2013).

As técnicas de Processamento de Imagens Digitais (PDI) têm por objetivo a manipulação, a partir de procedimentos computacionais que permitem o realce de

feições espaciais, impossíveis de se as obterem antes pelos métodos analógicos, de modo a tornar os detalhes contidos nas imagens mais perceptíveis ao usuário.

Dentre essas técnicas podem-se citar: a manipulação de contraste, composição colorida falsa-cor pelo modelo aditivo de cores RGB (Red, Green, Blue), transformação IHS (Intensity, Hue, Saturation), operações aritméticas entre bandas espectrais, filtragens espaciais, iluminações sintéticas, Análise por Principais Componentes (APC) e classificação (CROSTA, 2002).

A função primordial do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração da informação contida nas imagens, para posterior interpretação (SILVA, 1995).

As imagens de satélite permitem uma visão de conjunto e multitemporal, a qual possibilita acompanhar as transformações do espaço ao longo do tempo. A utilização do Sensoriamento Remoto no mapeamento do uso da terra de uma dada área tem papel fundamental, pois oferece a oportunidade da realização de um inventário sistemático da superfície terrestre, ao discriminar, em classes, a categorização dos diferentes usos da terra (FONSECA, 2001).

Tais procedimentos servem à geração de produtos diversos que são utilizados como subsídios a pesquisas nas mais variadas áreas do conhecimento. O resultado desse processo é a produção de outras imagens, estas já contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas.

Neste contexto, Schowengerdt (1997) diz que a classificação de imagens é um processo utilizado para produção de imagens temáticas a partir da criação de categorias (tais como, vegetação, solo exposto, corpos d'água, ou toda e qualquer feição distinguível na imagem), por meio de análise visual.

A aplicação dessas técnicas possibilita a produção de outras imagens que contêm informações específicas, após a identificação, extração, condensação e realce da informação de interesse, a partir dos dados de imagens brutas, o que permite a obtenção de resultados mais confiáveis (INPE, 2013).

Entre as técnicas de processamento, a classificação digital é uma das mais utilizadas. Trata-se de um processo de extração de informações temáticas em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos. Os métodos de classificação são usados para mapear áreas da superfície terrestre que apresentam um mesmo significado em imagens digitais, ao associar cada *pixel* a uma parte ou a um todo de um objeto do mundo real.

Segundo Crosta (2002), a classificação de imagens multiespectrais de Sensoriamento Remoto é realizada de duas maneiras. A primeira, chamada classificação não supervisionada, baseia-se no princípio de que o algoritmo do computador é capaz de identificar por si só as classes dentro de um conjunto de dados. E, ainda, a classificação supervisionada, fundamentada na disponibilidade prévia de amostras representativas, identificadas na imagem, para cada classe de interesse.

A classificação supervisionada foi o procedimento utilizado neste trabalho, e será, portanto, abordada com maior detalhamento. Este método consiste basicamente em utilizar informações de *pixels* com padrão bem definido para identificar (classificar) *pixels* de padrão indefinido.

Neste processo o analista deverá selecionar áreas de interesse dentre as feições mais homogêneas da imagem, onde deverão ser adquiridas amostras de treinamento, que servirão de parâmetro para que o *software* reconheça os demais *pixels* da imagem, com a aplicação de estatística multivariada a espaços amostrais (FERNANDES E GOMES, 2005).

É importante salientar que, para a classificação supervisionada das imagens desta pesquisa, será utilizado o método da máxima verossimilhança (MAXVER) que, de acordo com Venturieri e Santos (1998), complementando a citação acima, baseia-se no cálculo da distância estatística entre cada *pixel* e a média dos níveis de cinza da classe previamente definida a partir das amostras de treinamento, cuja seleção deve refletir a variabilidade de cada categoria dentro da área estudada. Os autores destacam que não há um número ideal dessas amostras para representar a classe de interesse.

Para validar o que foi constatado visualmente nas classificações, é construída uma matriz de confusão, que representa a distribuição de percentagens de *pixels* classificados de forma correta ou errônea (CONGALTON, 1991).

Nesse caso, a análise da exatidão dos mapeamentos é obtida através de matrizes de confusão ou matrizes de erro, que apresentam a distribuição de percentagem de *pixels* classificados correta e incorretamente, e é posteriormente calculado o índice Kappa de concordância. A confiabilidade da matriz de erros depende da amostragem, registro e conhecimento, e se reconhece como importante que a amostra de treinamento seja homogênea e representativa da classe de interesse (FERRARI, 2008).

O uso do coeficiente Kappa é satisfatório na avaliação da precisão de uma classificação temática, pelo fato de levar em consideração toda a matriz de confusão no seu cálculo, inclusive os elementos de fora da diagonal principal, os quais representam as discordâncias na classificação, diferentemente da exatidão global, por exemplo, que utiliza somente os elementos diagonais (concordância real) (COLGATON, 1991).

O valor do coeficiente de Kappa (K) varia entre -1 e 1, em que o valor 1 representa uma completa concordância entre a imagem classificada com o dado de referência. É uma medida da concordância real (indicado pelos elementos diagonais da matriz de confusão) menos a concordância por chance (indicado pelo produto total da linha e coluna matriz) (MOREIRA, 2005), conforme segue:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} + x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} + x_{+i})}$$

Onde: K = coeficiente Kappa de concordância; N = quantidade total de pontos amostrais; r = número de linhas da matriz de erro; x_{ii} = valor na linha i e coluna i ; x_{i+} = soma da linha i ; x_{+i} = soma da coluna i .

Neste contexto, Landis e Koch (1977) propõem uma escala de avaliação da qualidade da classificação digital pela análise do coeficiente Kappa, descrita na Tabela 1:

Tabela 1- Qualidade da classificação segundo intervalo do coeficiente Kappa.

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

Fonte: Landis e Koch (1977 apud FERRARI, 2008).

2.2 Sistema de Informações Geográficas (SIG)

Dentre as técnicas disponíveis para análise do ambiente (físico, biótico e antrópico), os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) constituem uma

importante ferramenta para a integração de informações sobre recursos naturais e a geração de mapas temáticos (FERREIRA et al., 2009).

O mecanismo de um SIG é capaz de interpretar alterações que ocorrem na paisagem, tendo fundamental importância para conhecer e planejar de forma ordenada a ocupação territorial. Ações desse tipo têm sido recentemente favorecidas pelo uso do Geoprocessamento.

Os conceitos relacionados aos SIG são encontrados na literatura bastante diversificados devido sua utilização por várias áreas científicas ou domínios da atividade humana, tais como: Recursos Naturais, Planejamento Urbano, Agricultura, Geografia, Informática, Meio Ambiente, Sensoriamento Remoto, etc. (CÂMARA, 1993).

Segundo Silva (1995) os SIG necessitam utilizar o meio digital e, por esse motivo, o uso intensivo da informática se torna imprescindível, devendo existir uma base de dados integrada, em que esses dados precisam estar georreferenciados e com controle de erro, contendo funções de análises que variam da álgebra cumulativa (operações tipo soma, subtração, multiplicação, divisão etc.) até a álgebra não cumulativa (operações lógicas).

O SIG apresenta como principais características a capacidade de inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno; além de oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados (CÂMARA E MEDEIROS, 1998).

Conforme Rocha (2000) os dados utilizados em SIG podem ser divididos em dois grandes grupos, denominados de dados gráficos, espaciais ou geográficos, os quais descrevem as características geográficas da superfície terrestre (forma e posição) e dados não gráficos, alfanuméricos ou descritivos, que descrevem os atributos dessas características.

O mesmo autor ainda diz que dados cartográficos, fotografias aéreas, imagens de satélites e mapas temáticos são armazenados no banco de dados geográficos de um SIG em duas grandes classes de representação, a forma vetorial (vetor) e a matricial (raster).

No modelo vetorial, as entidades do mundo real são representadas graficamente sob a forma de pontos, linhas ou polígonos. Já no formato matricial, tem-se uma matriz de células, às quais estão associados valores, que permitem reconhecer o objeto sob a forma de uma imagem digital, em que cada uma das células, chamadas de *pixel*, é endereçada por meio de suas coordenadas (linha, colunas), sendo que cada *pixel* está associado a valores que serão sempre números inteiros e limitados, geralmente entre 0 e 255.

Os dados alfanuméricos, por sua vez, podem ser subdivididos em dois atributos, que são os dados espaciais e os atributos georreferenciados. Os primeiros fornecem informações descritivas acerca das características de algum dado espacial, estando ligados aos elementos espaciais através de identificadores comuns, normalmente chamados de geocódigos, que estão armazenados tanto nos registros alfanuméricos como nos espaciais. Já os atributos georreferenciados são dados em que a preocupação é apenas georreferenciar alguma característica específica, sem que sejam descritas as suas feições espaciais (ROCHA, 2000).

Nesse contexto, Assad e Sano (1998) salientam que também é necessária uma abordagem em relação aos tipos de mapas de dados geográficos, destacando-se os mapas temáticos e os mapas cadastrais. Os mapas temáticos descrevem, de forma qualitativa, a distribuição espacial de uma grandeza geográfica, como os mapas de aptidão agrícola de uma determinada região, sendo que esses dados são obtidos a partir de levantamento de campo e inseridos no sistema por digitalização ou, de forma mais automatizada, a partir de classificação de imagens. Os mapas cadastrais distinguem-se dos temáticos, pois cada elemento é considerado como um objeto geográfico, possuindo atributos e podendo estar associados a várias representações gráficas.

2.3 Geoprocessamento

O objetivo principal do geoprocessamento é fornecer ferramentas computacionais para que diferentes analistas determinem a evolução espacial e temporal de um fenômeno geográfico, sendo que um exemplo desses fenômenos constitui-se na evolução do uso da cobertura de uma determinada porção da superfície terrestre.

O uso do Geoprocessamento em projetos ambientais requer o emprego intensivo de técnicas de integração de dados. Para serem feitos de forma detalhista, os projetos requerem que o especialista combine ferramentas de análise espacial, processamento de imagens, geoestatística e modelagem numérica do terreno (CÂMARA E MEDEIROS, 1998).

Com o advento da informática na automação de processos, surgiram ferramentas para a captura, armazenamento, processamento e apresentação de informações espaciais georreferenciadas, sendo que a ligação técnica e conceitual dessas ferramentas propiciou o desenvolvimento da tecnologia de processamento de dados geográficos, denominada de Geoprocessamento (BOLFE, 2001).

Atualmente as investigações acerca de mudanças no uso e cobertura da terra integram diversas ciências que buscam compreender a dinâmica das relações entre o homem e o meio em que está inserido. Uma dessas ciências é o Geoprocessamento que, aliado a técnicas de SIG, permite avaliar, no espaço temporal, o uso dos recursos naturais, bem como realizar projeções dinâmicas do uso e cobertura da terra (BENEDETTI, 2006).

Benedetti (2006) ainda salienta que o uso dos SIG é indispensável ao se tratar de Geoprocessamento, definidos como sistemas destinados ao tratamento automatizado de dados georreferenciados, que manipulam dados de diversas fontes e formatos, dentro de um ambiente computacional ágil e capaz de integrar as informações espaciais temáticas e gerar novos dados derivados dos originais.

Quando o mapeamento do uso da terra estiver associado aos SIG será possível conhecer a evolução da dinâmica espacial do uso da terra com a produção de séries temporais de mapas de uma mesma área, afirmando serem essas informações essenciais para o planejamento da maioria das atividades desenvolvidas em âmbito nacional, regional e municipal (SABINS, 1999).

2.4 Monitoramento e análise do uso e cobertura da terra

O termo *cobertura da terra* é definido como sendo a caracterização dos estados físico, químico e biológico da superfície terrestre, como por exemplo, floresta, gramíneas, água, ou área construída; já, o termo *uso da terra* refere-se aos propósitos humanos associados àquela determinada cobertura, por exemplo, pecuária, recreação, conservação, área residencial (TURNER et al.,1994).

Devido ao desenvolvimento da sociedade e o avanço da tecnologia, derivado das descobertas científicas, as interferências humanas aumentaram consideravelmente, principalmente em relação ao uso da terra e dos sistemas aquáticos (TRENTIN et al., 2007).

Complementando esta definição, Turner & Meyer (1994 apud BRIASSOULIS, 1999) afirmam que uma única classe de cobertura da terra pode suportar múltiplos usos (por exemplo, extração madeireira, preservação de espécies, recreação em áreas de floresta), ao mesmo tempo em que um único sistema de uso pode incluir diversas coberturas (sistemas agropecuários que combinam áreas cultivadas, pastagens, áreas de reserva e áreas construídas). Os autores ainda observam que mudanças no uso da terra normalmente acarretam o mesmo na cobertura do solo; contudo, poderão ocorrer modificações na cobertura sem que isto signifique alterações em seu uso.

Para Novo (1998), o termo *uso da terra* refere-se à utilização “cultural” da terra, enquanto que o termo *cobertura da terra* ou “*land cover*” é entendido como seu revestimento. A autora exemplifica esta distinção através de áreas florestais, as quais, embora sejam um único tipo de cobertura, podem apresentar diferentes usos como lazer, reservas biológicas, exploração de madeira.

Qualquer interferência do homem no meio ambiente pode ser perceptível em função da expansão econômica e demográfica, ampliando assim o uso dos recursos naturais. Neste contexto, a questão antrópica no ordenamento da paisagem local é vista como elemento integrante e articulador das transformações ocorridas no meio natural, e o uso da terra definido então como uma demonstração das relações socioeconômicas do território e indicador das fragilidades do ambiente (TRENTIN et al., 2007).

Mudanças de cobertura ocasionadas por alterações de uso da terra não necessariamente implicam em deterioração, e ainda, para entender estas mudanças, somente a classificação da cobertura não é suficiente, sendo necessário também caracterizar sua função (uso) e os agentes envolvidos (AGUIAR, 2002).

Assim, quando se busca analisar a dinâmica do uso e cobertura da terra, ou mesmo a dinâmica da paisagem, Soares-Filho (1998) propõe a aplicação do Geoprocessamento, através do mapeamento de padrões pelo Sensoriamento Remoto atuando em várias escalas temporais e da análise dessas relações

espaciais obtidas armazenadas em um SIG, como forma de buscar a caracterização de paisagens distintas, bem como de desvendar os processos das quais resultaram.

Neste contexto, a classificação multitemporal de imagens possibilita a análise da paisagem e o modo como cada um de seus elementos interage em sua dinâmica. E ainda faz uma complementação, que talvez os dados essenciais apareçam de observações da paisagem em dois períodos de tempo, por exemplo, através de mapas de cobertura da terra de imagens de satélite classificadas, obtidas para duas datas separadas de dez anos, observando-se que algumas das células mudam de classe naquele intervalo de tempo (BACA, 2002).

Tendo como foco a cobertura florestal, o monitoramento da mesma é muito enfatizada por diversos pesquisadores. Conforme Venturieri e Santos (1998), o alto índice de crescimento da população e o acelerado desenvolvimento industrial influenciaram significativamente no emprego de técnicas adequadas na avaliação de recursos terrestres, com custos e tempo reduzidos.

A obtenção de mapas temporais da cobertura da terra e conseqüentemente um mapa multitemporal das mudanças nos permite identificar as tendências da dinâmica da paisagem na área de estudo, incluindo suas taxas líquidas e brutas para cada período analisado, como também a evolução dessas taxas através do tempo (SOARES-FILHO, 2005).

Segundo o mesmo autor este mapeamento se faz necessário considerando a adequação do uso do solo, a quantificação de safras, a análise da evolução da ocupação de uma determinada área, entre outros fatores. As mudanças no uso do solo produzem conseqüências, sendo também uma necessidade para o estabelecimento da sociedade humana. Esses resultados podem ser negativos ou positivos, daí a importância de seu estudo.

É de vital interesse uma estimativa de superfícies florestais em diferentes épocas, através de um monitoramento periódico, salientando-se que, somente com o conhecimento das mudanças, é possível desenvolver uma política adequada ao uso da terra (RUHOFF, 2004).

O mapeamento da cobertura vegetal e seu monitoramento mostram-se de extrema importância, e existe um esforço por parte da comunidade científica em melhorar a acurácia destes estudos. Estes trabalhos visam observar as mudanças devido a fatores naturais e antrópicos, buscar uma maior eficiência nas elaborações de planos de manejo de recursos naturais, assim como na análise da paisagem, delimitar áreas prioritárias para a conservação, ou ainda realizar estudos que

envolvam tópicos sobre mudanças globais, modelagens de ciclos biogeoquímicos, estimativas de emissão de carbono dentre outros (ANDERSON et al., 2005).

O levantamento e mapeamento do uso e cobertura da terra de uma dada região ou município é importante para mostrar a distribuição espacial das atividades de exploração e conservação na área (PEREIRA et al, 1994).

2.5 Missão SRTM

A utilização de produtos oriundos do sensoriamento remoto na obtenção de dados planimétricos diversos já se torna realidade no Brasil há mais de uma década. A extração de dados altimétricos a partir de tais produtos, por outro lado, ainda é algo relativamente novo e que não está amplamente consagrado, apesar da grande demanda existente nesta direção.

A missão SRTM, ocorrida em 2000, possibilitou a coleta de dados altimétricos para praticamente toda a superfície terrestre. A existência desses dados em cobertura nacional permite que se avalie e desenvolva seu potencial para o mapeamento da vegetação de forma relativamente padronizada em diferentes ambientes.

Neste contexto, os dados da SRTM contribuem à análise do relevo, pois oferecem subsídios para a análise espacial, através de ferramentas oferecidas pelos Sistemas de Informação Geográfica - SIG, facilitando a tarefa de integração das informações topográficas.

Os dados SRTM são passíveis de derivação em variáveis morfométricas (ou, na denominação mais recente, geomorfométricas) para expressão das diferentes características do relevo, o que resulta num conjunto de dados em complemento à altimetria (VALERIANO, 2005).

Estes ainda constituem atualmente o mais completo conjunto de dados de elevação em uma escala quase global (cobertura de 80% da superfície da Terra) obtido por interferometria (RODRIGUEZ et al., 2005) e realizada em conjunto pela agência espacial norte-americana *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), a *National Geospatial Intelligence Agency* (NGA), o Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD) e as agências espaciais alemã (*Deustches*

Zentrum für Luft-und Raumfahrt- DLG) e italiana (*Agenzia Spaziale Italiana - ASI*) em fevereiro de 2000 (GROHMANN et al., 2008).

Os dados derivados do radar SRTM tem um vasto campo de aplicação e utilidade para as ciências da Terra. Através da Embrapa-“Brasil em Relevo” pode-se adquirir as cartas SRTM gratuitamente. Estas cartas são de fundamental importância para a elaboração de mapas altimétricos ou hipsométricos em nível municipal, pois ainda não existem muitos trabalhos nesta área.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área de estudo

O município de Santa Margarida do Sul localiza-se na metade sul do Estado, na região da campanha (Figura 1). Suas coordenadas geográficas são de aproximadamente 30° 30' 27' latitude Sul e 59° 19' 01' de longitude Oeste.

Santa Margarida do Sul limita-se ao norte e ao oeste com São Gabriel, a leste com Vila Nova do Sul e, ao sul com São Gabriel e Lavras do Sul. O Município tem uma superfície territorial de 958 Km², distante 295 Km de Porto Alegre, capital do RS.

O município faz parte do bioma Pampa e da microrregião Campanha Central (IBGE, 2010), sendo a vegetação predominante o campo, às vezes formando vassourais. A cobertura florestal presente no município é constituída principalmente por matas nativas, ao longo dos cursos hídricos, chamadas matas de galeria; muitas vezes uma vegetação pobre e por vezes, de aspecto arbustivo; estão nos pés dos tabuleiros e, esporadicamente, sob a forma de capões.

O clima da região é considerado do tipo subtropical úmido (Cfa). Apresentam temperaturas médias de 19°C com mínima de 5°C e máxima de 31°C. A precipitação anual é superior a 1300 mm e inferior a 1800 mm, com regime de chuvas hibernais, (MACHADO, 1950; MORENO, 1961).

O relevo da região é classificado como suave ondulado a plano (PINTO et al.; 1999). Os solos predominantes nas planícies de inundações são os planossolos-háplicos-eutróficos-arênicos. Já nas coxilhas de cotas intermediárias situam-se os argissolos-bruno-acinzentados-alíticos, e nas cotas mais altas ocorrem os argissolos-vermelho-distrófico-arênicos e os neossolos-quartzarênico-órticos, ambos de textura arenosa, e muito suscetíveis a erosão (STRECK et al., 2008).

A economia do Município baseia-se principalmente na agropecuária. O setor primário de Santa Margarida do Sul possui várias alternativas, especialmente na agricultura. As principais culturas são a soja e o arroz, seguidos do trigo e cevada. A citricultura e a vitivinicultura estão apresentando considerável desenvolvimento no Município. A Bacia leiteira é uma característica do Município. Também a criação de suínos e javalis para abate e um complexo industrial de beneficiamento de cereais.

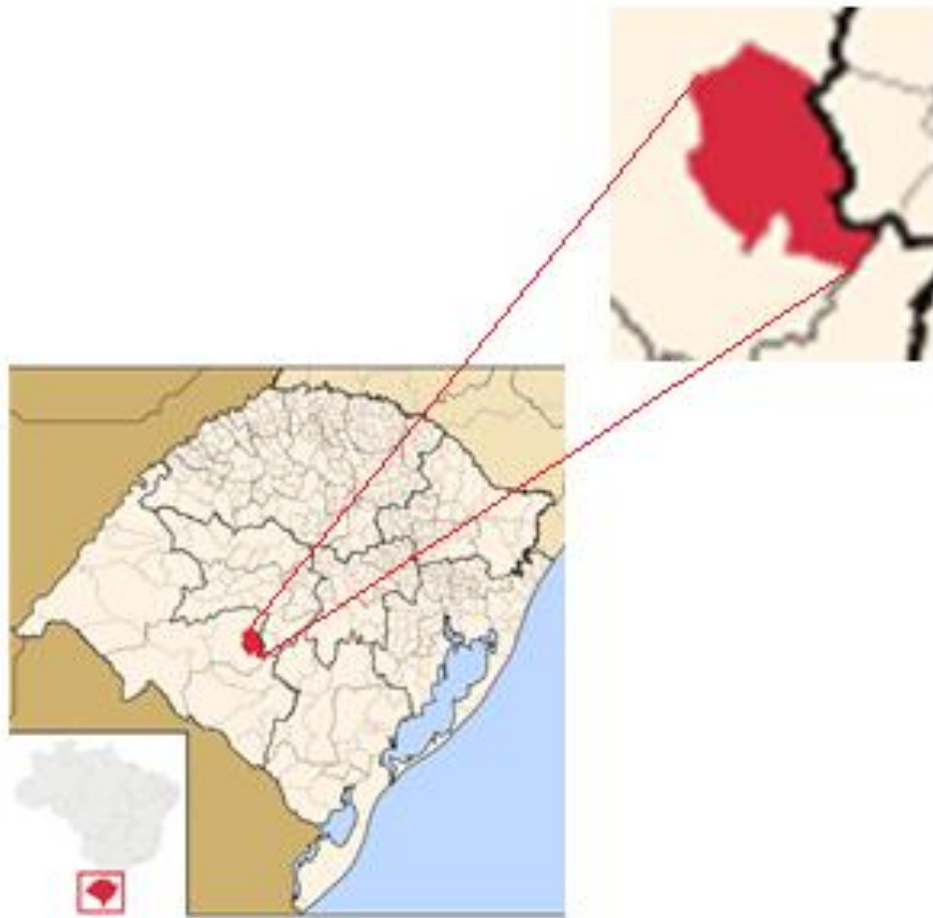


Figura 1- Localização do município de Santa Margarida do Sul.

3.2 Materiais

Na execução dessa pesquisa, foram utilizados os seguintes materiais cartográficos:

- Imagens *Thematic Mapper* (TM) do satélite LANDSAT 5 órbita-ponto: WRS 223-081 de 30 de abril de 2010 e 14 de julho de 1985, nas bandas espectrais 1, 2, 3, 4, 5.
- Cartas SRTM SH-22-Y-A e SH-22-Z-B.

As imagens, com resolução espacial de 30 metros, foram obtidas gratuitamente via internet, através da Divisão de Processamento de Imagens – DPI do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

A carta SRTM, em escala 1:250.000 foi adquirida gratuitamente, através do download no site da Embrapa - Brasil em Relevo.

Já os materiais de processamento e análise compreendem computadores, periféricos e aplicativos computacionais. Sendo que para o processamento das imagens foi utilizado aplicativo SPRING 5.1.6 (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), desenvolvido pelo INPE e distribuído gratuitamente pelo próprio site.

3.3 Metodologia

A realização do trabalho compreendeu inicialmente a aquisição das imagens Landsat 5, sensor TM, e SRTM. Depois disso foi realizado, com o auxílio do módulo IMPIMA do aplicativo SPRING 5.1.6, o recorte da área de interesse e a conversão das imagens para o formato GRIB (*.grb), formato padrão utilizado nos processamentos realizados neste *software*, a partir de outros formatos, neste caso GeoTIFF.

Após este processo, foi criado um banco de dados geográficos no aplicativo SPRING 5.1.6, e as imagens SRTM, apresentadas no formato Geotiff, foram importadas na projeção Latitude/Longitude, Datum SAD/ 69 e segundo o formato de grade, compondo um Modelo Numérico do Terreno (MNT).

A metodologia descrita a seguir compreende as etapas realizadas durante a execução do trabalho, as quais são: georreferenciamento das imagens, processamento digital das imagens, classificação digital das imagens, e análise espacial em linguagem LEGAL (Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico).

3.3.1 Georreferenciamento das imagens de satélite

A georreferência refere-se à localização de uma imagem ou arquivo vetorial no espaço, definida por um sistema referencial de coordenadas conhecido. Com imagens raster, uma forma comum de georreferenciamento é indicar o sistema de referência (latitude/longitude), dos cantos superiores e inferiores, esquerdo e direito da imagem (EASTMAN, 1994).

O processo de georreferenciamento é descrito por Teixeira e Christofolletti (1997) como sendo a situação em que uma entidade geográfica é referenciada espacialmente ao terreno por meio de sua localização, utilizando-se para tal um sistema de coordenadas conhecido no qual a localização de um ponto da superfície da Terra pode ser identificada.

Este processo é realizado com a finalidade de estabelecer as diferenças de posicionamento de alguns pontos na imagem e na carta e, a partir dessas diferenças, as distorções presentes podem ser estimadas e uma transformação adequada será computada, no sentido de corrigir a imagem.

Na tomada dos pontos de controle, faz-se necessário sua coleta em toda a área de abrangência da imagem, de forma a buscar uma boa disposição dos pontos sobre a imagem e uma precisão de posicionamento satisfatória.

O georreferenciamento das imagens obedeceu à escolha dos pontos de controle visíveis na composição falsa-cor e a aquisição das coordenadas de pontos de controle identificando-os como X, Y, representando o mesmo lugar, nas imagens processadas e no terreno.

Foram informados ao programa os valores das coordenadas previamente definidas, e, sobre a tela, os pontos representados por cruzetas numeradas foram arrastados sucessivamente até o local correto na imagem. Assim foi possível realizar uma seleção de todos os pontos de controle para a verificação do erro medido em pixels da imagem.

O Erro Médio Quadrático (RMS Error) para esta operação ficou estimado em 0.346246. Este valor é uma medida relativa do erro de ajuste entre as feições do pixel e do ponto de referência através do método dos mínimos quadrados, sendo que, quanto menor o RMS (0-1), maior a precisão do georreferenciamento.

3.3.2 Processamento digital

Foram executados procedimentos básicos de processamento de imagens, tais como técnica de contraste linear e recortes da área de interesse. Para a obtenção de uma melhor visualização e identificação dos alvos em estudo, e para a aquisição de amostras de treinamento, utilizadas na classificação digital das

imagens, elaborou-se composições coloridas falsa-cor, BGR 1, 2, 3 BGR 2, 3, 4 e BGR 3, 4, 5 (Figura 2).

Tais imagens são formadas por imagens coloridas produzidas a partir de três imagens independentes que contém informações espectrais fora do intervalo sensível ao olho humano.

Com relação à combinação de bandas do satélite Landsat, o INPE (2011) recomenda as seguintes combinações para composições coloridas:

- Bandas 1, 2 e 3: imagens em cor natural, com boa penetração de água, realçando correntes, turbidez e sedimentos; a vegetação aparece em tons esverdeados.
- Bandas 2, 3 e 4: definem melhor os limites entre solo e água, mantém algum detalhe em águas profundas e mostra diferenças na vegetação, que aparece em tonalidades de vermelho.
- Bandas 3, 4 e 5: mostram mais claramente os limites entre solo e água, com vegetação mais discriminada, aparecendo em tonalidades verde-rosa.

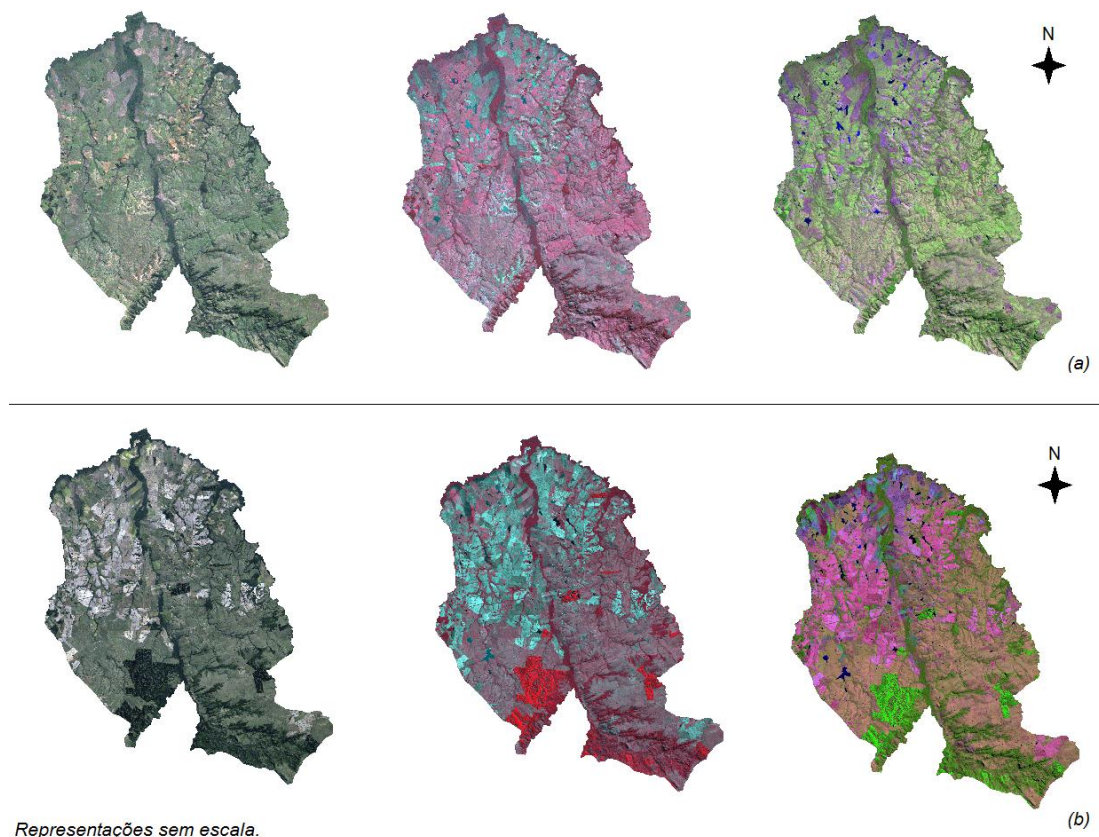


Figura 2- Composições espectrais coloridas B1G2R3, B2G3R4 e B3G4R5 das imagens Landsat 5 – TM, município de Santa Margarida do Sul – RS em 14/06/1985 (a) e 30/04/2010 (b).

3.3.3 Classificação digital do uso da terra

Neste estudo, utilizou-se o método de classificação digital denominado Classificação Supervisionada, assim chamada em função da presença da fase de treinamento, na qual o analista identifica áreas de treinamento representativas dos *pixels* de determinadas classes de uso da terra, e, depois cada *pixel* da imagem é classificado de acordo com a classe de uso que ele se assemelha.

Com base na observação visual das imagens, para a classificação foi utilizado o método de Máxima Verossimilhança (*MaxVer*) do SPRING 5.1.6, com limiar de aceitação de 100%.

Para a aplicação do mesmo, foi adquirido um número expressivo de *pixels* para cada amostra de treinamento, garantindo assim resultados mais precisos. Foram escolhidas amostras significativas, de alvos distintos para diminuir a confusão entre classes, a fim de reduzir a sobreposição entre as distribuições de probabilidades.

Para a área de estudo adotou-se a coleta de uma quantidade significativa de amostras distribuídas para cada classe de uso da terra, de acordo com a interpretação das imagens, onde foram geradas as respectivas assinaturas espectrais para cada classe adotada, que foram as seguintes: *Floresta, Culturas, Campo, Solo exposto e Água*.

De tal forma que o tema Lâmina d'água representa os rios, arroios, açudes e banhados; Campo inclui áreas de vegetação rasteira e com criação de gado, pastagem e campo sujo; Floresta: correspondem às florestas nativas e áreas de florestamento; Solo exposto: compreendem as áreas agrícolas em pousio, em preparação para o plantio, ou ainda área urbana; e Culturas: consideradas áreas ocupadas com cultivos agrícolas, em pequenas e grandes propriedades.

Finalizado o processo de classificação digital, foram obtidos mapas temáticos de uso e cobertura da terra para a data analisada, sendo possível a partir destes, realizar a quantificação da área de cada uma das classes adotadas, bem como investigar as mudanças ocorridas no período entre os anos de 1985 e 2010.

3.3.4 Confeccção de mapas temáticos

3.3.4.1 Mapa hipsométrico

Para a elaboração do mapa temático de classes hipsométricas, foi utilizada a grade altimétrica do Rio Grande do Sul obtida através do SRTM – NASA, importada anteriormente para uma categoria do tipo MNT no programa SPRING 5.1.6. A partir da interpolação dos valores altimétricos desta grade, foram geradas isolinhas correspondentes às curvas de nível apenas do município de Santa Margarida do Sul.

Na obtenção das classes hipsométricas equidistantes em 50 metros, foi necessário realizar a operação de fatiamento desta imagem, para agrupar valores altimétricos diferentes em intervalos de classes pré-definidos. A cada classe hipsométrica, foi atribuída uma classe temática correspondente para que fossem quantificadas as respectivas áreas.

3.3.4.2 Mapa clinográfico

No preparo do mapa clinográfico ou de declividade, assim como no altimétrico, as curvas de nível foram obtidas a partir de cartas SRTM e importadas no SPRING 5.1.6 no formato grade para uma categoria do tipo Modelo Numérico do Terreno (MNT). Pela interpolação dos valores altimétricos desta grade foram geradas isolinhas correspondentes às curvas de nível apenas da área de interesse.

Com isso gerou-se uma grade triangular (TIN - *Triangular Irregular Network*), estruturas topológicas vetoriais do tipo arco-nó, nos quais os nós são conectados formando triângulos que se sobrepõem na área de estudo (ARANOFF, 1989).

Para a obtenção das classes de declividade do solo, realizou-se novamente a operação de fatiamento desta imagem. Neste caso os valores altimétricos foram agrupados em 5 classes, com base na metodologia desenvolvida por De Biase (1992 apud BENEDETTI, 2006), mostrada na Tabela 2:

Tabela 2- Classes de declividade do solo

Classes de declividade do solo	Percentual (%)
1	0 – 5
2	5 – 12
3	12 – 30
4	30 – 47
5	>47

Fonte: De Biase (1992).

Com base na metodologia mencionada, a seguir são descritas as referidas classes:

1. Classe 0-5%: Compreende o limite máximo urbano industrial; no meio rural, compreende terras cultiváveis com problemas simples de conservação do solo, sem maiores problemas de erosão.
2. Classe 5-12%: São consideradas como declividades moderadas, podendo ser usadas máquinas agrícolas no cultivo e preparo do solo, porém com algumas preocupações. Permite cultivos não muito intensos, com cuidados de proteção do solo.
3. Classe 12-30%: Determina o limite máximo para a urbanização sem restrições. No meio rural, são permitidos cultivos apenas com equipamentos de tração animal ou tratores esteira devido à inclinação das vertentes, sendo admitido o cultivo de culturas permanentes sem restrição, principalmente com árvores de maior porte ou reflorestamento.
4. Classe 30-47%: Representa o limite máximo para o corte raso de vegetação. Estas áreas devem ser usadas somente para reflorestamentos, cultivo de vegetação permanente, cultivo de pomares, etc.
5. Classe >47%: Em faixas situadas nesta classe não é permitida a derrubada de florestas para nenhum fim, só sendo tolerada a extração de toras em regime de utilização que vise rendimentos permanentes e produção de madeira de forma continuada, não proporcionando locais desprovidos de vegetação que favoreça a erosão e demais intempéries.

3.3.5 Análise em Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico (LEGAL)

Através de programação em LEGAL, e com base no mapeamento temático elaborado para os anos de 1985 e 2010, foram gerados os mapas de variação florestal e variação agrícola, para a identificação de transições nos padrões de uso e cobertura da terra.

O mapa temático de variação florestal foi feito a partir do cruzamento entre as bases temáticas relativas ao período de julho de 1985 e abril de 2010. Este mapa mostra áreas de manutenção florestal, onde a classe floresta está presente nas duas datas observadas. Áreas de desflorestamentos, ou desmatamentos, entendidas como aquelas que a classe temática floresta foi suprimida em função das outras classes de uso do solo, como culturas, campo, solo exposto e água. E áreas de reflorestamentos, ou regeneração, onde a floresta tomou lugar das classes de uso e cobertura da terra citadas.

Em relação ao mapa de variação agrícola, foram cruzadas as bases temáticas do mesmo período, neste caso focado nas áreas agrícolas. O mapa mostra áreas consideradas de redução agrícola, onde as classes temáticas de culturas e solo exposto foram substituídas pelas demais classes temáticas. Áreas de expansão agrícola também foram observadas, sendo aquelas em que as classes culturas e solo exposto aparecem em locais anteriormente ocupados pelas outras classes. E ainda áreas de manutenção agrícola, onde as mesmas não sofreram alterações durante o período, podendo estar ocupadas por qualquer uma das classes que caracterizam atividades agrícolas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Mapa hipsométrico

Como mencionado na metodologia deste trabalho, para a elaboração do mapa hipsométrico do município de Santa Margarida do Sul fez-se uso do sistema de imageamento por Radar da NASA – SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*, o qual possibilita a construção de um Modelo Numérico do Terreno da área de estudo.

Desta forma, foram tomadas as cotas altimétricas usadas para a geração de grades irregulares triangulares – TIN. Os valores das cotas altimétricas foram agrupados em classes conforme a equidistância das curvas de nível – 50 metros.

Assim, a hipsometria do terreno foi obtida a partir das curvas de nível geradas pela grade altimétrica da área de estudo. Na Tabela 3, estão quantificadas as classes hipsométricas do município.

Tabela 3- Quantificação das classes hipsométricas

Classes (m)	Área (ha)	Área (%)
50-100	25.536,185	26,52
100-150	30.708,997	31,89
150-200	16.507,215	17,14
200-250	7.573,767	7,86
250-300	4.773,512	4,96
300-350	4.313,114	4,48
350-400	3.002,485	3,12
400-450	3.803,664	3,95
450-500	87,777	0,09
TOTAL	96.306,716	100,00

A classe altimétricas entre 50 e 100 metros está situada na porção norte da área de estudo e totalizam 25.536,185 ha. As cotas altimétricas entre 100 e 200 metros de altitude estão associadas ao relevo suave ondulado a ondulado e encontram-se distribuídas na parte central do município de forma predominante, totalizando 47.216,212 ha. As demais altitudes, entre 200 e 400 metros, foram quantificadas em 19.662,878 ha, sendo que cotas acima de 400 metros, somadas

em 3.891,441 há são encontradas de forma singular em áreas ao sul do município. A distribuição espacial das classes altimétricas da área estudada pode ser observada na Figura 3.

4.2 Mapa clinográfico

Da mesma forma, mapa clinográfico do município de Santa Margarida do Sul foi obtido a partir do sistema STRM. Foram geradas grades irregulares triangulares (TIN), e assim os valores das cotas altimétricas foram agrupados em cinco classes, propostas por De Biase (1992), como já descrito na metodologia deste trabalho. Na Tabela 4, estão quantificadas as classes de declividade da área de estudo.

Tabela 4- Quantificação das classes de declividade do solo

Classes (%)	Área (ha)	Área (%)
0-5	58.526,361	60,77
5-12	31.142,566	32,34
12-30	5.894,700	6,12
30-47	663,899	0,69
>47	79,190	0,08
TOTAL	96.306,716	100,00

A classe 0-5% é a mais expressiva, caracterizando a área como predominantemente plana, ocupando 58.526,361 ha, distribuída por todo o terreno, principalmente na parte norte, junto às áreas de várzea e ainda em algumas regiões mais elevadas.

A classe de 5-12% de declividade ocupa 31.142,566 ha da área total, estando presente sobre praticamente toda a região, em relevo suave ondulado a ondulado.

A distribuição espacial da classe de declividade entre 12-30% dá-se principalmente na porção sul da área de estudo, totalizando 5.894,700 ha.

As demais classes, de 30-47% e >47%, somadas ocupam apenas 743,089 ha. Sua ocorrência dá-se também ao sul do município de Santa Margarida do Sul. A espacialização destas e das demais classes de declividades pode ser observada na Figura 4.

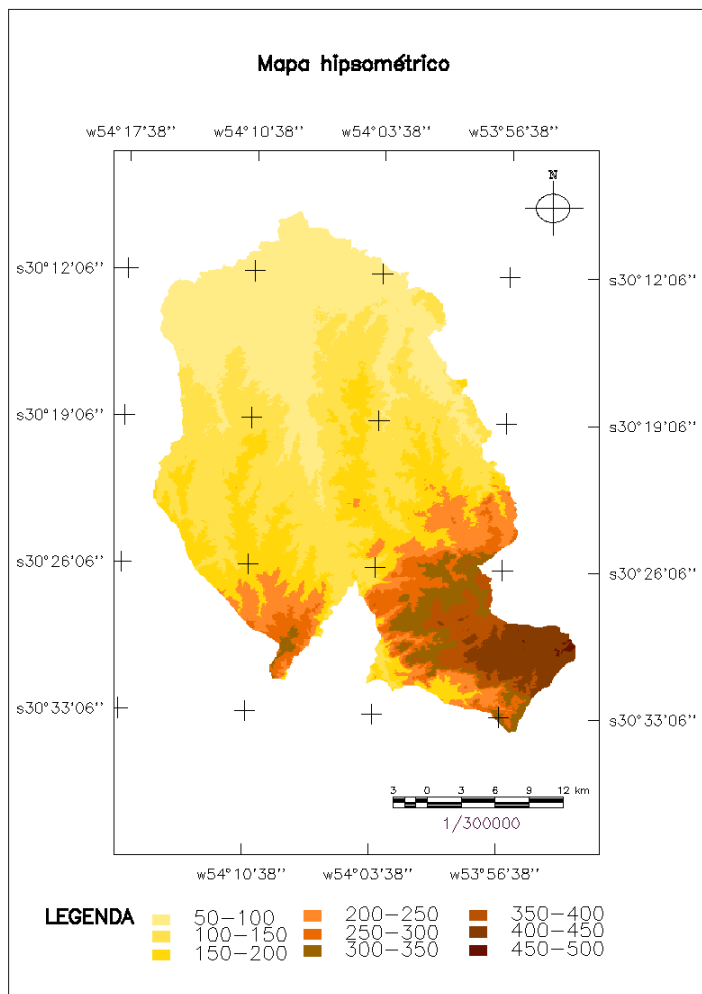


Figura 3- Mapa hipsométrico do município de Santa Margarida do Sul

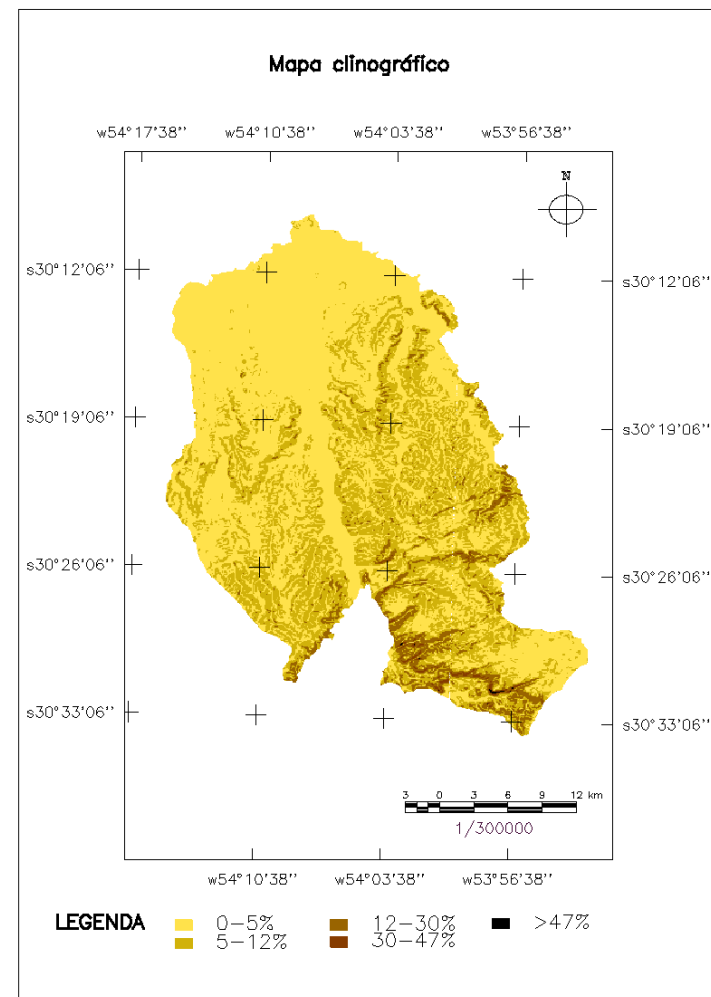


Figura 4- Mapa clinográfico de Santa Margarida do Sul.

4.3 Uso e cobertura da terra em 1985

O processo de classificação digital das imagens foi realizado de forma supervisionada, por meio do método da Máxima Verossimilhança (MAXVER), com limiar de aceitação de 100%, descrito anteriormente na metodologia deste estudo.

Os padrões de uso e cobertura da terra amostrados e mapeados (Figura 5) neste estudo foram determinados com base nas observações das imagens, após o devido processamento. Sendo definidas as seguintes classes temáticas:

- **Floresta**, considerando toda e qualquer formação florística de porte arbóreo, sendo as florestas nativas de ocorrência natural, localizadas geralmente nas áreas de encosta, as matas ciliares encontradas ao longo da rede de drenagem, e atendendo ainda florestas implantadas com espécies exóticas. Nesta classe foram contabilizadas ainda aquelas definidas como regeneração ou formação vegetal sucessora.
- **Campo**, compreendendo os campos nativos e ainda pequenas áreas de pastagem implantadas.
- **Água**, onde estão inseridos os reservatórios naturais ou artificiais usados para o abastecimento e principalmente para a irrigação da lavoura orizícola, podendo também, em alguns casos, aparecer áreas inundadas para este cultivo.
- **Culturas**, consideradas áreas ocupadas com cultivos agrícolas, em pequenas e grandes propriedades.
- **Solo exposto**, classe temática representada por áreas de terra preparadas para o cultivo, culturas recentemente implantadas, áreas de voçorocas, ravinas provocadas por processos erosivos, afloramento de rochas e ainda área urbana, a qual não foi classificada separadamente por ser pouco desenvolvida no município em questão.

Realizados o processamento e a classificação digital das imagens LANDSAT, foi possível analisar e quantificar a ocupação do solo no município de Santa Margarida do Sul, para o ano de 1985. Estes resultados estão demonstrados na Tabela 5.

Em julho de 1985, os campos eram predominantes na paisagem regional, ocupando 57.234,306 ha. Estão localizados nas áreas de relevo suave a ondulado, muitas vezes usadas para a criação extensiva de bovinos.

A classe referente às lâminas d'água ocupou 635,450 ha da área total do município, caracterizada principalmente pela presença de barragens e açudes.

Quanto à classe culturas, esta ocupou uma área de 13.429,920ha. Já a floresta, totalizou 21.265,610 ha da área em estudo, observada principalmente ao longo de canais fluviais.

Finalmente, os 3.741,430 ha restantes foram classificados como solo exposto. Nesta classe, estão inseridas áreas lavradas para a introdução de culturas agrícolas ou em pousio.

Tabela 5- Quantificação do uso e cobertura da terra em julho de 1985.

Classes	Área (ha)	Área (%)
Campo	57.234,306	59,43
Água	635,450	0,66
Culturas	13.429,920	13,94
Floresta	21.265,610	22,08
Solo Exposto	3.741,430	3,88
TOTAL	96.306,716	100,00

Para quantificar a precisão das amostras utilizadas na classificação foi calculado o índice Kappa, considerado um dos parâmetros mais eficientes na validação dos levantamentos de uso do solo. Para julho de 1985 este índice totalizou 0,9951, indicando excelência na qualidade de classificação, conforme valores e conceitos, desenvolvidos por Landis e Koch (1977 apud FERRARI, 2008).

4.4 Uso e cobertura da terra em 2010

Assim como em 1985, o processo de classificação digital das imagens do ano de 2010 foi realizado de forma supervisionada, por meio do método da Máxima Verossimilhança (MAXVER), com limiar de aceitação de 100%.

Após foram amostradas, mapeadas e finalmente quantificadas as mesmas classes temáticas definidas anteriormente (Tabela 6), para posterior comparação do uso e ocupação do solo no período avaliado.

Tabela 6- Quantificação do uso e cobertura da terra em abril de 2010.

Classes	Área (ha)	Área (%)
Campo	45.553,616	47,30
Água	714,460	0,74
Culturas	9.875,890	10,25
Floresta	19.919,540	20,68
Solo Exposto	20.243,210	21,02
TOTAL	96.306,716	100,00

Com estes resultados pode-se observar, na Tabela 7, o percentual de das mudanças observadas dentro de cada classe entre julho de 1985 e abril de 2010.

Tabela 7- Alteração para cada classe de uso e cobertura da terra nos períodos de julho de 1985 a abril de 2010.

Classes	1985-2010 Área (ha)	(%)
Campo	-11.680,690	-20,4
Água	79,010	12,4
Culturas	-3.554,030	-26,5
Floresta	-1.346,070	-6,3
Solo Exposto	16.501,780	441,1

Em abril de 2010 a classe campo totalizou 45.554,616 ha, observando-se uma diminuição de 11.680,690 ha em relação à data anterior em função do aumento de áreas ocupadas por atividades agrícolas neste período. Entretanto, continuaram sendo a classe predominante na área em questão.

A classe constituinte das lâminas d'água, em abril de 2010, passou a ocupar 714,460 ha. O aumento observado, de 79,010 ha, em relação aos 635,450 ha observados em julho de 1985, pode ser explicado pela expansão da agricultura irrigada na região, devido à ampliação de açudes para irrigação.

A classe culturas representou 9.875,890 ha da área total do município de Santa Margarida do Sul, constituindo um decréscimo de 3.554,030 ha durante o período analisado. Esta redução pode ser ocasionada pelas alterações na distribuição espacial desta cultura, áreas antes utilizadas para monoculturas e agora ocupadas por campo de pastagem nativa. Pode-se ainda, pela data da imagem,

áreas de cultivos em pousio ou em preparo terem sido classificadas como solo exposto.

Em abril de 2010 a classe floresta foi mapeada em 19.919,540 ha. A redução observada durante o período de vinte e cinco anos, comparado aos 21.265,610 ha mapeados em julho de 1985, compreendeu 1.346,070 ha, o que representa uma redução de 6,3% nesta classe.

Esta redução é verificada através dos respectivos mapas, não só nas áreas quantificadas, mas também na distribuição espacial. Desta forma, a cobertura florestal do município de Santa Margarida do Sul não acompanhou as estimativas de um aumento da cobertura florestal em nível estadual, como demonstrado em resultados do Inventário Florestal do Rio Grande do Sul (SEMA/UFSM, 2001).

Na segunda data analisada, as áreas de solos expostos foram mapeadas em 20.243,210 ha. O acréscimo no período estudado foi de 16.501,780 ha, ocasionado pela redução dos campos, pelo surgimento de extensas áreas sem vegetação, pela pequena expansão da área urbana do município, e ainda pelo pousio em áreas agrícolas.

Assim como para 1985, na análise da exatidão das amostras usadas no mapeamento para abril de 2010, foi utilizado o coeficiente Kappa, o qual totalizou 0,9749. Da mesma forma, a qualidade de classificação foi considerada excelente, mostrando-se suficiente para assegurar bons resultados quanto aos mapas temáticos gerados.

As classes de uso e cobertura da terra mapeadas no município para abril de 2010 estão ilustradas a seguir (Figura 6).

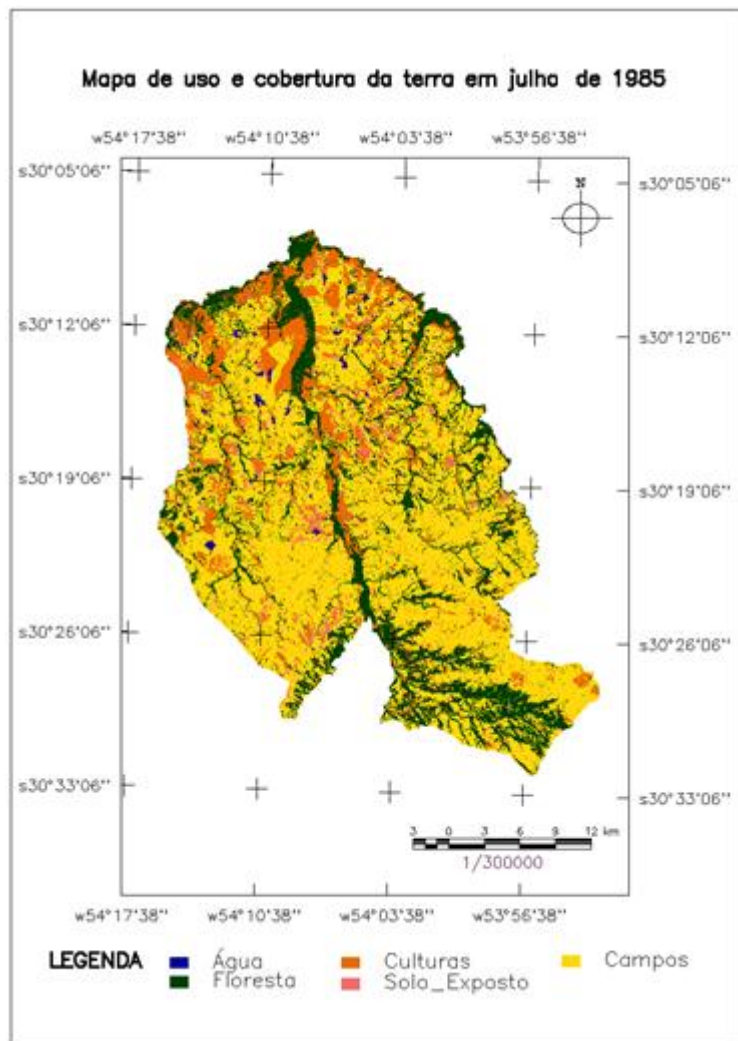


Figura 5- Mapa de uso e cobertura da terra em julho de 1985.

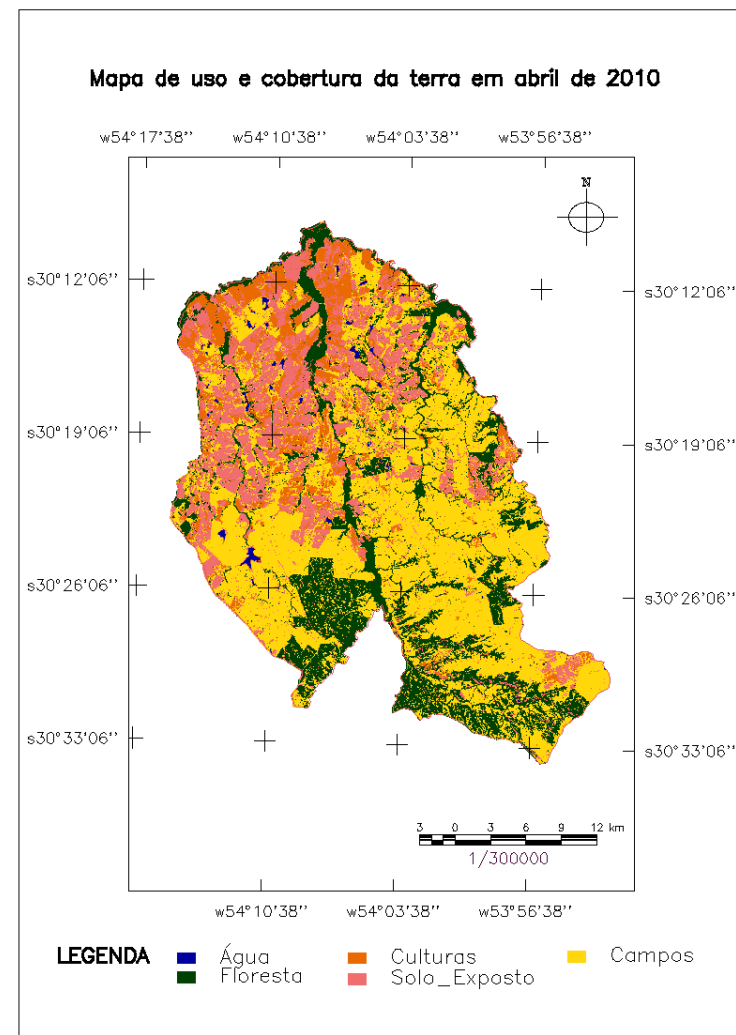


Figura 6- Mapa de uso e cobertura da terra em abril de 2010.

4.5 Variação Florestal

Os números relacionados à variação florestal foram organizados sob análise do período entre julho de 1985 e abril de 2010 (Tabela 8), onde são explanados os resultados para as novas classes temáticas consideradas como de mudança da cobertura (desflorestamento/desmatamento, regeneração florestal e manutenção florestal). A distribuição destas classes pode ser observada no mapa da Figura 7.

Tabela 8- Quantificação da variação florestal entre julho de 1985 e abril de 2010.

Classes	Desflorestamento/ Desmatamento	Regeneração Florestal	Manutenção Florestal
Áreas (ha)	13.383,990	10.769,130	9.149,870

Os desflorestamentos ou desmatamentos ocorreram por toda a área do município, sendo o valor calculado para esta classe de 13.383,990 ha, entre julho de 1995 e abril de 2010. A maior parte das áreas desmatadas, ou desflorestadas constitui espaços ocupados por atividades pastoris, ou ainda atividades agrícolas.

Alguns desmatamentos foram verificados no entorno da área urbana, e ainda próxima de lavouras irrigadas evidenciando a exploração irracional e também vestígios da retirada de vegetação natural nas margens dos cursos d'água.

A regeneração florestal, ou reflorestamentos, totalizou 10.769,130 ha. Este aumento deu-se por toda a área de estudo, principalmente na porção centro-sul, e nas margens dos cursos d'água. Isso se deve pelo plantio de florestas exóticas, e também devido às altitudes mais elevadas e de vertentes mais íngremes dos afluentes, onde áreas menos propícias são abandonadas pelos agricultores, influenciados até mesmo pela imposição da legislação estadual ao corte de florestas nativas.

Quanto à manutenção florestal, foram consideradas as áreas que se mantiveram inalteradas durante o período de análise, as quais foram quantificadas em 9.149,870 ha. A permanência das florestas ocorre principalmente no interior das matas de galeria, pois as maiores alterações encontram-se na faixa de bordadura das florestas e adjacentes à áreas agrícolas.

4.6 Variação Agrícola

Os resultados obtidos para variação agrícola do município de Santa Margarida do Sul foram da mesma forma organizados considerando o período de vinte e cinco anos condizente com o estudo. Na tabela 9, são observados os resultados para a quantificação das classes definidas para esta transição (redução, expansão e manutenção agrícola). E a Figura 8 ilustra a distribuição espacial das referidas classes.

Tabela 9- Quantificação da variação agrícola entre julho de 1985 e abril de 2010.

Classes	Redução	Expansão	Manutenção
Áreas (ha)	8.445,870	7.446,600	1.962,540

A redução agrícola apresentou uma área de 8.445,870 ha, resultando em sua maior parte de campos, assim qualificados quando as gramíneas nativas ocuparam áreas de exploração agrícola (culturas, agricultura irrigada ou solo exposto). Uma pequena parte desta redução foi constituída de florestas desenvolvidas a partir do abandono de áreas agrícolas.

Sobre a expansão agrícola, esta foi mapeada em 7.446,600 ha no período de vinte e cinco anos. Deste total, a maior parte foi de avanço sobre áreas de campo nativo, e em menor proporção de avanço sobre áreas florestais desmatadas. Os principais avanços da agricultura no período estudado ocorreram em áreas mais planas, contudo pode-se observar a existência de desmatamentos em algumas áreas de preservação permanente junto à rede de drenagem.

A manutenção agrícola ocorrida entre julho de 1985 e abril de 2010 foi quantificada em 1.962,540 ha. Esta classe caracteriza-se pela permanência de quaisquer das atividades agrícolas.

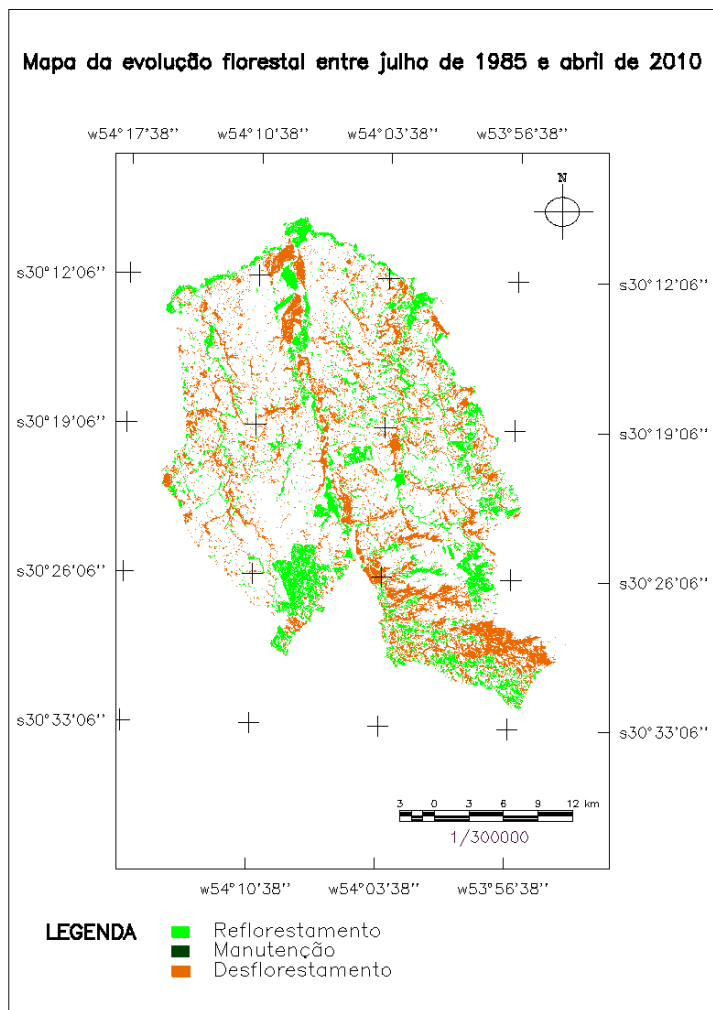


Figura 7- Mapa da variação florestal entre julho de 1985 e abril de 2010.

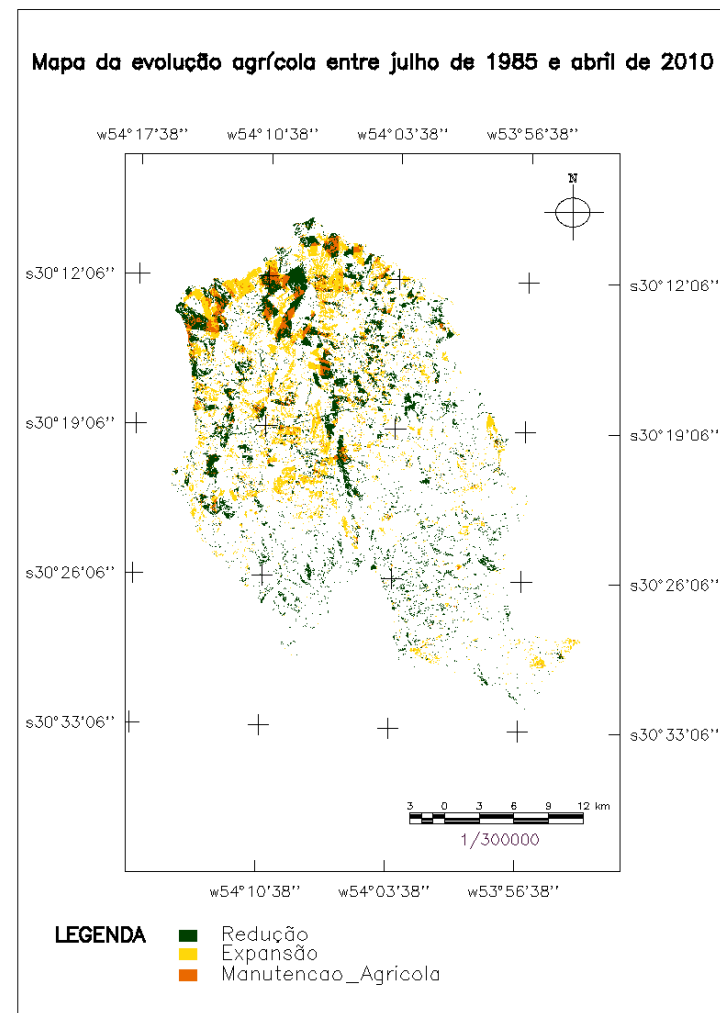


Figura 8- Mapa da variação agrícola entre julho de 1985 e abril de 2010.

4.7 Classes de declividade x uso e cobertura da terra

Os dados relativos ao uso e cobertura da terra, de ambas as datas foram cruzados através da linguagem LEGAL com os dados relativos às classes de declividade. Foram analisadas a ocorrência dos temas classificados em função das classes de declividade adotadas na realização do mapa clinográfico.

O resultado deste cruzamento é demonstrado através dos mapas para as classes de vegetação e uso e cobertura da terra em julho de 1985 (Figura 9) e abril de 2010 (Figura 10), e ainda na Tabela 10, que quantifica as áreas calculadas de acordo com a intersecção entre os mapas e também mostra o percentual da classe em relação à sua área total.

Na classe 0-5% de declividade, predominante área de estudo, observou-se a predominância dos campos, seguido da classe floresta e culturas, quantificado em 33.980,231 ha, 12.641,714 ha, e 9.626,760 ha respectivamente. Estes resultados são referentes à julho de 1985, pois em abril de 2010 a situação apresentou algumas mudanças. Na última data a classe campo seguiu sendo a mais expressiva, com 25.612,006 ha, mas agora seguida da classe solo exposto (15.717,675 ha) e floresta (9.807,672 ha).

Em julho de 1985, para a segunda classe, de 5-12% de declividade, os campos predominaram novamente, totalizando 18.223,101 ha. A classe floresta (5.889,984 ha) e culturas (3.646,920 ha) vieram logo em seguida. Em diferentes proporções, o mesmo ocorreu para abril de 2010.

A classe de declividade entre 12-30% apresentou na primeira data 3.510,771 ha de campo, e 2.420,150 ha na segunda data analisada. A classe floresta foi quantificada em 2.154,444 e 2.081,612 ha, respectivamente. A classe referente às lâminas d'água foram distribuídas apenas nestas três classes de declividade, em maior parte nas áreas de 0-5% de declividade.

Em julho de 1985 locais com 30-47% de declividade apresentaram 1.104,281 ha de campos, 321,114 ha de floresta e 16,750 ha de culturas, evidenciado a maior ocupação destas áreas mais íngremes por campos nativos ou pastagens. Já em abril de 2010, 342,902 ha são formados por floresta, 51,078 ha por culturas, 160,290 ha por campos e 16,830 ha por solo exposto.

As declividades superiores a 47% estão localizadas em pequena porção no município, e em 1985 foram quantificados em 258,354 ha de floresta, 0,560 ha de culturas e 415,921 ha de campos. Para a segunda data, os valores passaram para 167,942 há de floresta, 12,420 há de campos, 3,510 de solo exposto e não foram contabilizadas áreas de culturas, evidenciando o respeito às leis que tratam do plantio em áreas com declividade maior que 47%.

Tabela 10- Quantificação das classes temáticas de acordo com as classes hipsométricas.

Classes de Uso	Classes de Declividade	1985 Área (ha)	Área (%)	2010 Área (ha)	Área (%)
Água	0-5%	498,520	78,45	511,060	71,53
	5-12%	86,430	13,60	158,620	22,20
	12-30%	50,500	7,95	44,780	6,27
	30-47%	0,000	0	0,000	0,00
	>47%	0,000	0	0,000	0,00
	TOTAL		635,450	100,00	714,460
Floresta	0-5%	12.641,714	59,45	9.807,672	49,24
	5-12%	5.889,984	27,70	7.519,412	37,75
	12-30%	2.154,444	10,13	2.081,612	10,45
	30-47%	321,114	1,51	342,902	1,72
	>47%	258,354	1,21	167,942	0,84
	TOTAL		21.265,610	100,00	19.919,540
Culturas	0-5%	9.626,760	71,68	8.104,638	82,06
	5-12%	3.646,920	27,16	1.495,128	15,14
	12-30%	138,930	1,03	225,048	2,28
	30-47%	16,750	0,12	51,078	0,52
	>47%	0,560	0,004	0,000	0
	TOTAL		13.429,920	100,00	9.701,460
Campos	0-5%	33.980,231	59,37	25.612,006	56,22
	5-12%	18.223,101	31,84	17.348,750	38,08
	12-30%	3.510,771	6,13	2.420,150	5,31
	30-47%	1.104,281	1,93	160,290	0,35
	>47%	415,921	0,73	12,420	0,03
	TOTAL		57.234,306	100,00	45.553,616
Solo Exposto	0-5%	3.065,727	81,94	15.717,675	77,64
	5-12%	470,367	12,57	4.194,885	20,72
	12-30%	189,741	5,07	310,310	1,53
	30-47%	15,595	0,42	16,830	0,08
	>47%	0,000	0,00	3,510	0,02
	TOTAL		3.741,430	100,00	20.243,210

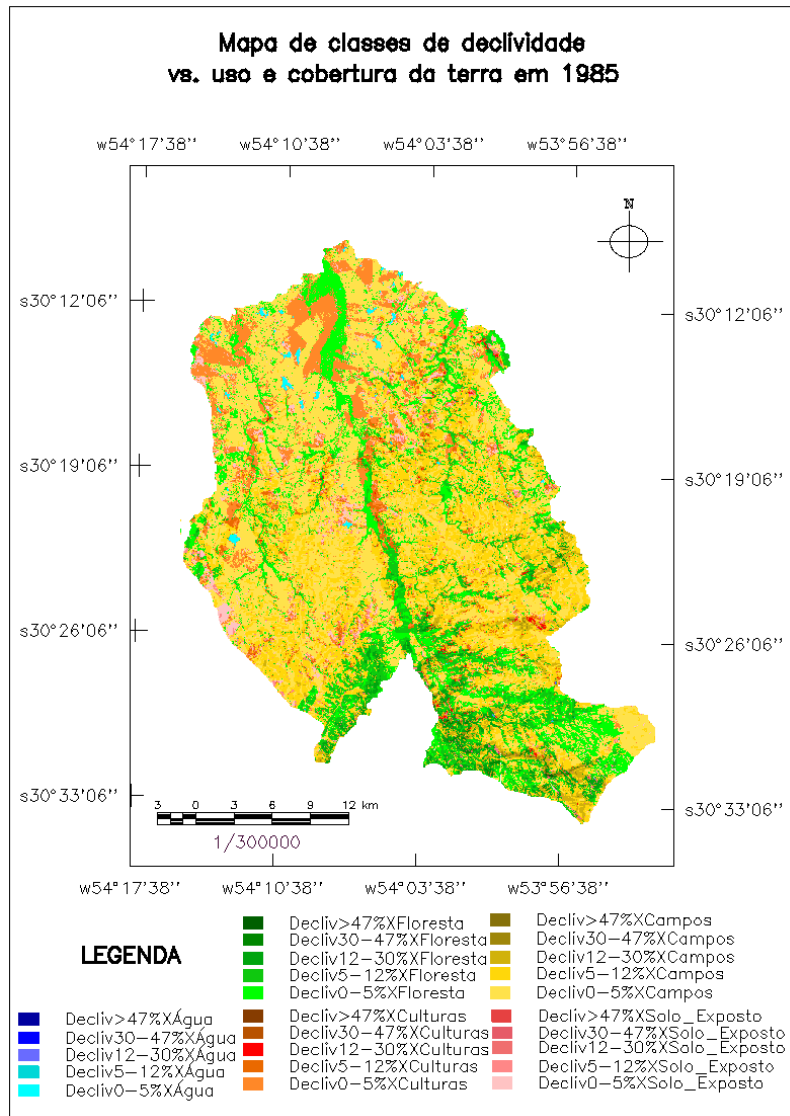


Figura 9- Mapa de classes de declividade x uso e cobertura da terra em julho de 1985.

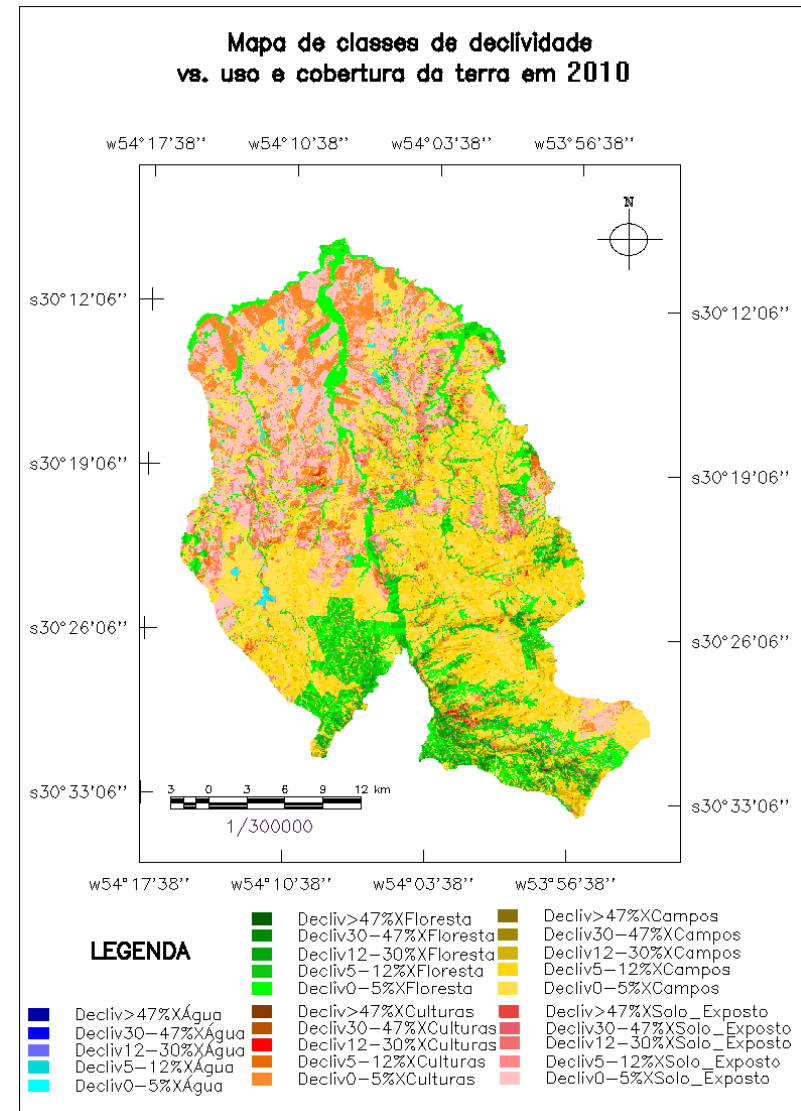


Figura 10- Mapa de classes de declividade x uso e cobertura da terra em abril de 2010.

5 CONCLUSÃO

O uso da análise de imagens multitemporais, através da metodologia utilizada, gerou resultados confiáveis quanto à identificação de padrões de uso e cobertura da terra e suas alterações.

O mapeamento temático dos recursos naturais, da declividade e a base cartográfica, constituem importantes dados geográficos, podendo ser utilizados para o desenvolvimento de planos de ocupação e exploração racional do município.

Durante o período analisado o uso do solo predominante foi campos. Contudo, na cena da última data os mesmos se apresentam menos expressivos, devido principalmente ao avanço agrícola sobre estas áreas.

As florestas, que em julho de 1985 constituíam a segunda maior contribuição em extensão territorial, em abril de 2010 totalizaram 21% da área total do município, dando lugar à classe solo exposto, com 20.243,210 ha de toda a área. Sugere-se uma melhor investigação nas causas desta redução, incluindo levantamentos mais detalhados realizados a campo.

A variação florestal foi caracterizada em três diferentes classes. O desflorestamento/desmatamento mostrou-se predominante no município. Contudo, a regeneração florestal representou valor aproximado ao encontrado para áreas de manutenção no mesmo período.

Em relação a análise do processo evolutivo da agricultura, este mostrou uma diferença de praticamente 1.000,000 ha entre a redução, e a expansão das áreas ocupadas por atividades agrícolas. Isto se deve pela recente emancipação e expansão do município, e ainda pela confusão que pode ter havido na classificação, pela data das imagens encontrar-se em um período onde já foi feita a colheita, possibilitando a classificação da área como solo exposto.

Quanto à correlação entre as classes de declividade e o uso e cobertura da terra as lâminas d'água foram encontradas nas partes mais planas, assim como as culturas e os campos. Já nas mais íngremes foram mais expressivas as classes floresta e campo.

Os resultados obtidos estão armazenados em um banco de dados geográficos, e poderão ser usados na geração de modelos de simulação espacial, devido às suas múltiplas representações e apresentações geográficas,

possibilitando a simulação de acontecimentos e a indicação de alternativas que conduzam à manutenção da capacidade produtiva deste ambiente.

As informações contidas no banco de dados podem ser atualizadas periodicamente, ou ainda poderão ser originados novos planos de informação a partir da sua interpolação ou mesmo de sua complementação, permitindo a continuidade ou a realização de novas pesquisas, e o aperfeiçoamento da análise do espaço geográfico do município de Santa Margarida do Sul.

Recomenda-se utilizar a metodologia proposta em estudos de monitoramento ambiental, dinâmica de uso e cobertura da terra, análise espacial e temporal e demais trabalhos relacionados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. P. D. **Modelagem de Mudanças de Uso e Cobertura do Solo na Amazônia:** Questões Gerais. In: INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. São José dos Campos: INPE, 2002. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/cap4modelosLUCC.pdf>>. Acesso em: 20 abr.2013.

ANDERSON, L. O et al. Utilização de dados multitemporais do sensor MODIS para o mapeamento da cobertura e uso da terra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia, **Anais...** Goiânia, 2005. p. 3443-3450.

ARANOFF, S. **Geographical Information Systems:** a management perspective. Ottawa: WDL Publications, 1989. 294p.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas – Aplicações na agricultura.** Brasília, EMBRAPA. 1998.

BACA, J. F. M. **Dinâmica da Paisagem:** métodos analíticos, modelos de classificação e simulação prognostica, sob a ótica geoecológica. 2002. 184f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

BENEDETTI, A. C. P. **Análise espacial da evolução e cobertura da terra na sub-bacia hidrográfica do Arroio Arenal, Santa Maria/RS.** 2006. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

BOLFE, E. L. **Geoprocessamento aplicado à Análise de Recursos Florestais Estudo de Caso:** FOLHA SH. 22-Y-A / DSG. 2001. 139f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

BRIASSOULIS, H. **Analysis of Land Use Change:** Theoretical and Modeling Approaches. In: Regional Research Institute. West Virginia University, 1999. Disponível em: <<http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>>. Acesso em 15 abr. 2013.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de. Princípios básicos em Geoprocessamento. In: ASSAD. E. D.; SANO E. E. (Org.). **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura.** 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1998. p. 3-11.

CÂMARA, J. B. D. **Análise da Área de Proteção Ambiental do Rio São Bartolomeu como instrumento de planejamento e gestão ambiental.** Dissertação (Mestrado em Ecologia) –Universidade de Brasília, Brasília, 1993.

CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy classificatons of remotely sensed data. **Remote Sensing Environment**, [S.l.], v. 37, p. 35-46, 1991.

CROSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.** 4 ed. rev. Campinas: Instituto de Geografia – UNICAMP, 2002.

EASTMAN, J. R., **IDRISI:** Exercícios tutorais. J. Ronald Eastman. Editor da versão em português, Heinrich Hasenack. Porto Alegre, UFRGS - Centro de Ecologia, 1994. 109p.

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. Disponível em: <<http://www.empraba.gov.br>>. Acesso em 17 mar. 2013.

FERNANDES, G. S.; GOMES, V. S. **Uso de técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas (SIG) para detecção do crescimento de áreas urbanas.** 2005. (Trabalho de Graduação – Tecnologia em Sensoriamento Remoto) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás, Goiânia, 2005.

FERRARI, R. **Modelagem Dinâmica do Uso e Cobertura da Terra da Quarta Colônia, RS.** 2008. 130f. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

FERREIRA, L. G. et al. **Dinâmica agrícola e desmata mentos em áreas de Cerrado: uma análise a partir de dados censitários e imagens de resolução moderada.** Revista Brasileira de Cartografia, Goiânia, GO. n. 61/02, p. 117- 127, 2009.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de textos. 2002. 102p.

FONSECA, L. M. G. **Processamento Digital de Imagens.** In: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <<http://www.inpe.br>>. Acesso em: 20 mar. 2013.

GROHMANN, C. H.; RICCOMINI, C.; STEINER, S.S. Aplicação de modelos de elevação SRTM em geomorfologia. **Revista de Geografia Acadêmica**, v.2 n. 2, p. 73-83, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Brasília. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12 abr. 2013.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. Disponível em: <<http://www.inpe.br>>. Acesso em: 9 abr. 2013.

_____. Manual do Usuário SPRING. São José dos Campos. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/indice.htm>>. Acesso em: 9 abr 2013.

LANDIS, J.R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**. New York, v. 33, n.1, p.159-174, 1977.

LAZZAROTO, D. R. Sensoriamento Remoto. In: FATORGIS. São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.fatorgis.com.br>>. Acesso em: 15 mar. 2013.

MACHADO, F.P. **Contribuição ao estudo do clima do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: Serviço Gráfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1950. P.8-9.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura. 1961. 41p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. Viçosa, UFV, 2005. 320p.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 308p.

PEREIRA, M. N. et al. **Técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento para mapeamento e análise do uso da terra**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1994. 19 p.

PINTO, L. F. S.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. da S.; SOUZA, R. O. Caracterização de solos de várzea. In: GOMES, A. da S.; PAULETTO, E. A. **Manejo do solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 11-36.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2000. 220p.

RODRIGUEZ, E. A Global Assessment of the SRTM accuracy, The Shuttle Radar Topography Mission – Data Validation and Applications. **Workshop, Reston, VA**, 2005. Disponível em: <http://edc.usgs.gov/conferences/SRTM/WorkshopProgram.html>, acesso: 25 abr. 2013.

RUHOFF, A. L. **Gerenciamento de recursos hidrográficos: modelagem ambiental com a simulação de cenários preservacionistas**. 2004. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SABINS, F.F. **Remote Sensing: principles and interpretation**. 3. rd. New York: W. F. Freeman and Company, 1999. 494p.

SCHOWENGERDT, R. A. Spectral Transforms In: **Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing**. London: Academic Press, 1997. 522p.

SEMA/UFSM. Secretaria Estadual do Meio Ambiente do RS/Universidade Federal de Santa Maria. **Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: 2001. 706p. Disponível em <<http://coralx.ufsm.br/ifcrs/frame.htm>>. Acesso em 22 mar. 2013.

SILVA, D. A. da. **Sistemas Sensores Orbitais**. São José dos Campos: INPE – CTA, 1995. 69 p.

SOARES FILHO, B. S. **Modelagem dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica**. 1998. 299 f. Tese (Doutorado Engenharia Civil). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

SOARES-FILHO, B. S. Análise das mudanças de cobertura do solo no Norte do Mato Grosso, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais eletrônicos...** Goiânia: Centro de Convenções, 2005. Disponível em: <<http://www.itid.inpe.br/sbsr2005>>. Acesso em 14 abr. 2013.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C. do; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222p.

TEIXEIRA, A. L. de A.; CHRISTOFOLETTI, A. **Sistemas de Informação Geográfica**: Dicionário Ilustrativo. São Paulo: Editora Hucitec Ltda., 1997. 244p.

TRENTIN, C. B.; FILHO, W. P.; TRENTIN, A. B. **Dinâmica do uso e cobertura da terra na área de captação do reservatório Passo Real/RS**. UFSM. 2007. Disponível em: <<http://www.geo.ufv.br/simposio/>>. Acesso em 22 mar. 2013.

TURNER, B.L.; MEYER, W. B.; SKOLE, D. Global land-use/land cover change: Towards an integrate study. **Ambio**, Londres, v.23, n.1, p. 91-95, 1994.

VALERIANO, M. M. Modelo digital de variáveis geomorfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. 2005. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto XII, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3595-3602.

VENTURIERI, A.; SANTOS, J. R. dos. Técnicas de classificação de imagens para análise da cobertura vegetal. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Org.). **Sistemas de Informações Geográficas**: Aplicações na Agricultura. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1998. p. 351-371.