

EVOLUÇÃO TEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA - ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE TEUTÔNIA - RS - BRASIL

Temporal Evolution of Land Use and Land Cover - Case Study in the Teutônia Municipality - RS - Brazil

Adriano Leonardo Altmann¹
Rafael Rodrigo Eckhardt²
Claudete Rempel^{2,3}

¹**Centro Universitário UNIVATES**
Especialista em Bases Ecológicas para a Gestão Ambiental
Rua Avelino Tallini, 171, Bairro Universitário, Caixa Postal: 155, Lajeado / RS, CEP: 95900-000
adrianoabio@yahoo.com.br

²**Centro Universitário UNIVATES**
Cursos de Engenharia Ambiental e Ciências Biológicas; Núcleo de Geoprocessamento
Rua Avelino Tallini, 171, Bairro Universitário, Caixa Postal: 155, Lajeado / RS, CEP: 95900-000
rafare@univates.br

³**Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS**
Doutoranda em Ecologia pelo Instituto de Biociências
Avenida Bento Gonçalves, 9500, Campus do Vale, Caixa Postal: 15007, Porto Alegre / RS, CEP: 91540-000
crempel@univates.br

RESUMO

A disponibilidade de imagens de satélite de uma mesma região da Terra, espaçadas no tempo, e das ferramentas computacionais presentes nos SIG, permitem que sejam elaboradas comparações, utilizando a dimensão temporal como uma qualidade dos dados adquiridos nos distintos instantes. Esta função do sensoriamento remoto, destinada à análise dos fenômenos temporais, cíclicos ou não, é conhecida por Detecção de Mudanças no Uso e Cobertura da Terra ou ainda Avaliação Temporal. O presente estudo objetiva realizar a análise temporal e espacial da paisagem do município de Teutônia, localizado no nordeste do estado do Rio Grande do Sul. A análise temporal foi realizada a partir de imagens do satélite Landsat, de 1976, 1987, 1997 e 2008. Os resultados apontaram que as áreas florestais estão aumentando e as áreas de uso agropecuário estão diminuindo no município. No período analisado, as florestas aumentaram 80%, as áreas de uso agropecuário tiveram redução de 32,61% e a área urbanizada aumentou 12,22 vezes.

Palavras chaves: Sensoriamento Remoto, análise temporal, dinâmica da paisagem.

ABSTRACT

The availability of satellite images from a same region of the Earth, spaced in the time, and the GIS computational tools allow the elaboration of comparisons, using the temporal dimension like a quality of the data acquired in the different instants. This remote sensing function, destined to the analysis of the temporal cyclical or not phenomenon, it's known by Land Use-Cover Changes Detection or still Temporal Evaluation. This paper aims to perform the space-time analysis of the Teutônia municipality landscape, located in the northeast of the Rio Grande do Sul state. The temporal analysis was performed starting from Landsat satellite images from 1976, 1987, 1997 and 2008. The results showed that the forest areas are increasing and the agricultural areas are decreasing in the municipality. In the analyzed period, the forests increased 80%, the agricultural areas had reduction of 32.61% and the urbanized area increased 12,22 times.

Keywords: Remote Sensing, temporal analysis, landscape dynamics.

1. INTRODUÇÃO

O planeta Terra vem construindo sua história a mais de 3,5 bilhões de anos. É uma história longa e complexa, repleta de constantes transformações capazes de evidenciar uma sucessão de estados que se alternam entre situações de não-equilíbrio e equilíbrio, resultando em diferentes paisagens. Uma paisagem é, então, a expressão de processos compostos de uma seqüência de mudanças que ocorreram em uma determinada fração de tempo. Mudanças ocorreram e ainda ocorrem desencadeadas pela ação de agentes naturais em um passado distante e agentes naturais e humanos no tempo presente. A paisagem que vemos hoje é um retrato dos acontecimentos do passado e, sem dúvida, não será a mesma no futuro (SANTOS, 2007).

O homem desenvolveu grande capacidade de apropriação e transformação do meio em que vive, utilizando o quanto o meio possa lhe dar, mas não desenvolveu, concomitantemente, a consciência e o conhecimento necessário a respeito das limitações desse espaço, usando-o, muitas vezes, de forma descontrolada e desmedida (SANTOS, 2007). Segundo Refosco (2006) e Milaré (2006), a ocupação do espaço pelo homem interfere e promove diversas modificações no ambiente.

Santos (2007) afirma que a forma como se dá a ocupação do espaço tem provocado sucessivos e inúmeros problemas ambientais, como a degradação da cobertura vegetal, perda de biodiversidade, obstrução e alteração da rede de drenagem, transmissão de doenças de veiculação hídrica, contaminação e poluição do ar, água e solo, perda de terras produtivas, desencadeamento de processos erosivos, entre outros tantos. De acordo com Milaré (2006), uma vez que o crescimento é um imperativo, impõe-se discutir os instrumentos e os mecanismos que conciliem obras e projetos desenvolvimentistas com a redução dos impactos ecológicos e, conseqüentemente, os custos sócio-econômicos.

Toda paisagem possui uma dada configuração espacial e temporal em função do arranjo e das inter-relações entre os seus componentes. Se um ou mais desses componentes são modificados, a configuração espacial também será alterada e uma nova estrutura de paisagem será posta. Pode-se extrair de uma paisagem uma grande quantidade de informações, considerando todos os seus aspectos e a complexidade que a envolve. Em estudos de paisagem, pode-se analisar, por exemplo, sua geologia, os tipos de solos e de relevo, o sistema hídrico, além de algumas características climáticas. É importante reconhecer a importância de cada informação (SANTOS, 2007).

Segundo Soares Filho (1998), para estudar a dinâmica da paisagem, é necessário, em primeiro lugar mapear os padrões de uso e cobertura da terra, categorizando-os em função de características médias, para com isso avaliar como cada elemento da paisagem se relaciona com o outro espacialmente e temporalmente.

Uso e cobertura da terra é um tema básico, pois retrata as atividades humanas que podem significar pressão e impacto sobre os elementos naturais. É uma ponte essencial para a análise de fontes de poluição e um elo importante de ligação entre as informações dos meios biofísicos e socioeconômicos. Em geral, as classes de uso e cobertura da terra são identificadas, espacializadas, caracterizadas e quantificadas. As informações sobre esse tema devem descrever não só a situação atual, mas as mudanças recentes e o histórico de ocupação da área de estudo (SANTOS, 2004).

Das classes de uso e cobertura da terra, pelo seu potencial como indicador, a vegetação é um tema muito valorizado. É um elemento do meio natural muito sensível às condições e tendências da paisagem, reagindo distinta e rapidamente às variações. A vegetação pode mudar abruptamente, em curtos períodos de tempo e dentro de pequenas distâncias. Seu estudo permite conhecer, por um lado, as condições naturais do território e, por outro lado, as influências antrópicas recebidas, podendo-se inferir, globalmente, a qualidade do meio. A delimitação da vegetação em datas diferentes indica as mudanças, sua direção e a velocidade ao longo do tempo, permitindo compreender o cenário atual e reconstruir os cenários passados. Além disso, o mapeamento da vegetação é a forma mais comum encontrada para a tomada de decisões relativas à conservação de ecossistemas naturais ou à recuperação da cobertura vegetal (SANTOS, 2004).

A análise do processo de urbanização, suas conseqüências e a compreensão da estrutura e dinâmica da população, são relacionadas com os aspectos demográficos, que se relacionam diretamente à ocupação física do espaço, no adensamento e expansão das cidades (SANTOS, 2004). Outra classe de uso e cobertura da terra destacada são os usos agropecuários. Esta classe representa um uso direto pela humanidade para a produção de alimentos e mantimentos diversos. Ao mesmo tempo, as áreas agropecuárias, quando não gerenciadas da forma adequada, podem promover danos e impactos ambientais diversos. Além disso, a expansão ou redução das áreas agropecuárias reflete, respectivamente, na redução e regeneração das florestas.

Para Giotto (1981), o monitoramento do uso e cobertura da terra tem importância redobrada, pois além de permitir avaliar as alterações antrópicas provocadas, fornece informações essenciais para o manejo eficiente dos recursos naturais, favorecendo o surgimento de instrumentos para a previsão de safras, para avaliação da cobertura florestal, para determinação de novas áreas de expansão agrícola e florestal e outras.

Os mapas que expressam as classes de uso e cobertura da terra são elaborados a partir da interpretação de imagens obtidas por sensores remotos, sendo os dados modelados e trabalhados em um SIG - Sistema de Informação Geográfica (SANTOS, 2004). O advento dos satélites de sensoriamento remoto favoreceu, nos últimos anos, a realização de estudos das propriedades físicas, químicas e biológicas dos elementos constituintes da superfície terrestre em áreas

extensas e inóspitas (HUETE, 1988). A utilização de imagens de satélite está em constante avanço, principalmente no acompanhamento do desmatamento, na preservação ambiental e na identificação de impactos causados pela ação humana (FLORENZANO, 2002). Em relação aos SIGs, Santos (2004), Garcia *et al.* (2006) e Moraes (2000) consideram que estes são instrumentos vitais para a condução dos métodos de integração dos principais temas ambientais e que a capacidade de alguns desses sistemas de coletar e cruzar conjuntos de dados é quase ilimitada. Segundo Câmara e Medeiros (1998), os SIGs utilizam operações matemáticas e métodos computacionais para o tratamento das informações, por meio de correlações espaciais, temáticas, temporais e topológicas. Entre as principais utilizações destacam-se a produção de mapas, a análise espacial e o banco de dados geográficos, com funções de armazenamento, cruzamento e recuperação de dados.

Santos (2007) aponta que o planejamento do uso e cobertura da terra em áreas urbanas e rurais é competência municipal. Ainda segundo esta ótica, Ranieri (2000) indica que há uma convergência de autores por ele estudados, inclinados pelo uso de espaços territoriais não muito extensos e com autonomia administrativa como unidade territorial básica para o planejamento ambiental. A adoção de limites municipais evita excessivas generalizações nas etapas da pesquisa e análise, permite a participação dos atores sociais envolvidos e torna possível a execução das políticas públicas.

A disponibilidade de imagens de satélite, de uma mesma região da Terra, espaçadas no tempo, e das ferramentas computacionais presentes nos SIGs permitem que sejam elaboradas comparações, utilizando a dimensão temporal como uma qualidade dos dados adquiridos nos distintos instantes, qualificando as informações obtidas. Esta função do sensoriamento remoto, destinada à análise dos fenômenos temporais, cíclicos ou não, é conhecida por Detecção de Mudanças no Uso e Cobertura da Terra ou ainda Avaliação Temporal (HUANG *et al.*, 2000).

Exemplos de estudos de análise temporal, no Brasil, foram realizados na floresta amazônica, no norte do estado do Pará, para as datas de 1984 e 1991 (ALENCAR *et al.*, 1996) e na região leste do Pará, para os anos de 1985 e 1995 (WATRIN *et al.*, 1998). Em bacias hidrográficas foram realizados estudos de análise temporal por Duarte e Brito (2005), na bacia hidrográfica do Rio Uberabinha, localizada na região de Uberlândia de Minas Gerais.

Para Carvalho Júnior *et al.* (2005), os estudos de análise temporal cada vez mais se intensificam, considerando as características espectrais das imagens de satélite. Esses procedimentos permitem o desenvolvimento de monitoramentos sazonais da superfície da Terra, como por exemplo, na evolução dos desmatamentos, crescimento urbano, monitoramento agrícola, entre outras aplicações.

O Rio Grande do Sul sofreu um declínio representativo na cobertura vegetal desde o século passado, principalmente a partir das imigrações alemã e italiana. Atualmente existem resquícios de mata nativa somente nas regiões marginais dos rios, em áreas de maior altitude e declividade e em poucas zonas preservadas (REITZ *et al.*, 1983). Estudos recentes apontaram que a área coberta por florestas naturais no Estado do Rio Grande do Sul aumentou 11,91% de 1982 a 2000. A área atual é composta por 13,5% de florestas nativas em estágio médio e avançado e 4,03% em estágio inicial de sucessão (RIO GRANDE DO SUL, 2002). Estudos de evolução temporal realizados em uma bacia hidrográfica localizada próxima à área de estudo e com características físicas semelhantes, apresentaram resultados similares aos obtidos no Estado do RS (REMPEL *et al.*, 2001). Esses estudos indicam que existe uma tendência natural e atual de regeneração e recuperação das áreas florestais suprimidas no passado no Rio Grande do Sul.

2. OBJETIVO

O presente estudo visa realizar a análise temporal e espacial das áreas florestais, das áreas de uso agropecuário e da área urbana do município de Teutônia / RS e reconstruir a dinâmica da paisagem, no período de 1976 a 2008, dessas três classes de uso e cobertura da terra.

3. METODOLOGIA

O estudo foi realizado no município de Teutônia, localizado no nordeste do estado do Rio Grande do Sul, situado a 51°47'57" W e 29°26'36" S. A área do município é de 179,17 km². A Fig. 1 apresenta a localização da área de estudo.

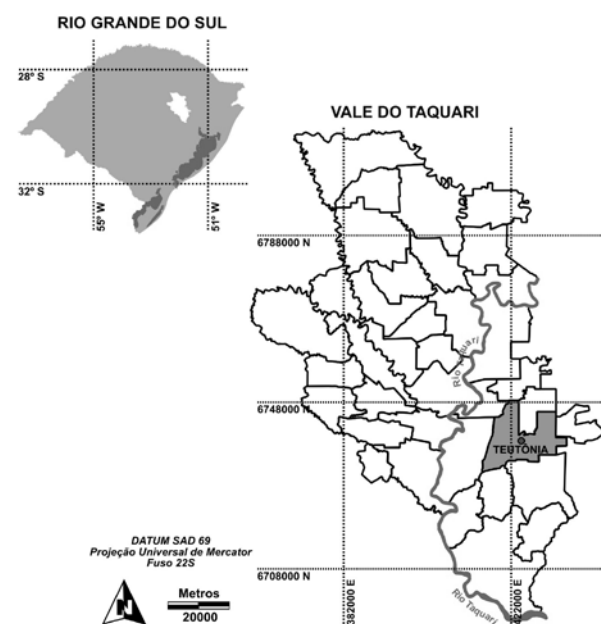


Fig. 1 - Localização do município de Teutônia

A definição do espaço, representado no presente estudo pelo município de Teutônia, exige a escolha de uma escala que melhor o represente. Cada abordagem aprofunda a avaliação dos elementos componentes e fenômenos atuantes na paisagem e corresponde a uma representação da dimensão espacial e temporal das informações sobre o meio, ou seja, tem uma escala. Espera-se que cada elemento ou dado do meio seja representado por distâncias que reproduzam suas dimensões reais e pelo período em que incidem e compartilham o espaço (SANTOS, 2004).

Estudos realizados por White e Mackenzie (1986), que pretendiam definir a escala ótima para a diferenciação de diversos padrões irregulares, no tempo e no espaço, da cobertura vegetal concluíram que nenhuma escala de resolução seria perfeita, nem mesmo para cumprir a meta de mapear um único tipo de vegetação. Conclusões semelhantes foram obtidas por Pedreira e Santos (1999). Santos (2004), alerta que a escolha da escala de trabalho além de ser difícil, raramente é perfeita. Assim, é imprescindível que os limites da interpretação oriundos da escala sejam explicitados para que se possa estimar as prováveis consequências ou os erros de sua aplicação.

Diversas escalas usuais de trabalho em planejamento foram discutidas de ordem teórica e prática por vários autores. Pablo *et al.* (1994) reconhecem três escalas em planejamento: a local, a regional e a global. As Tab. 1 e 2 apresentam as propostas de relação entre o nível, tipo e representação de diferentes escalas, descritas respectivamente nos trabalhos de Cendreno (1989) e FAO (1986).

TABELA 1 - RELAÇÃO ENTRE O NÍVEL, REPRESENTAÇÃO E TIPOS DE ESCALAS

Nível da Escala	Representação da Escala	Tipo de Escala
Macro	> 1:500.000	Reconhecimento
Meso	1:25.000 - 1:250.000	Semi-Detalhada
Micro	< 1:10.000	Detalhada

Fonte: Cendreno, 1989.

TABELA 2 - RELAÇÃO ENTRE O NÍVEL, REPRESENTAÇÃO E TIPOS DE ESCALAS

Nível da Escala	Representação da Escala	Tipo de Escala
Macro	> 1:1.000.000	Exploratória
Meso	1:100.000 - 1:1.000.000	Reconhecimento
Micro	1:25.000 - 1:100.000	Semi-Detalhada
	< 1:25.000	Detalhada

Fonte: FAO, 1986.

A análise temporal, proposta de ser realizada no presente estudo no município de Teutônia, foi realizada a partir de um conjunto de imagens do satélite MSS Landsat 2 e do satélite TM Landsat 5, obtidas gratuitamente do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. A investigação foi realizada do ano de 1976 até o ano de 2008, período que compreende 42 anos. A Tab. 3 apresenta a relação e as principais

características das imagens de satélite utilizadas na análise temporal.

TABELA 3 - RELAÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE UTILIZADAS NO ESTUDO.

Data da Imagem	Satélite	Órbita - Ponto	Resolução Espacial	Bandas Usadas
10/11/76	Landsat 2	237-081	80 m	4, 5 e 7
20/06/87	Landsat 5	221-080	30 m	3, 4 e 5
18/08/97	Landsat 5	221-080	30 m	3, 4 e 5
09/03/08	Landsat 5	221-080	30 m	3, 4 e 5

De acordo com Florenzano (2002), existe uma relação entre a escala e resolução espacial das imagens de satélites, embora sejam conceitualmente distintas. Em função de sua resolução espacial, existe uma escala ideal que permite extrair toda a informação possível de determinada imagem. Para imagens com resolução espacial de 30 metros, como as do sensor TM a bordo do satélite Landsat 5, a escala de trabalho que permite extrair a maior quantidade de informação é aquela em torno de 1:100.000. As mesmas relações entre a resolução espacial das imagens com a escala são apresentadas por Liu (2006).

3.1 Pré-Processamento das Imagens de Satélite

Os procedimentos metodológicos relacionados com o pré-processamento das imagens de satélite apresentadas na Tab. 3, como a correção radiométrica, a normalização radiométrica, a correção geométrica (georreferenciamento e registro) e o recorte foram realizados no software ENVI 4.5 (ITT, 2008), enquanto que a análise temporal foi implementada no SIG Idrisi Kilimanjaro (EASTMAN, 2003). Do conjunto de bandas do satélite Landsat disponibilizadas foram utilizadas as bandas 4 (verde), 5 (vermelho) e 7 (infravermelho próximo) do satélite Landsat 2 e as bandas 3 (Vermelho), 4 (Infravermelho Próximo) e 5 (Infravermelho Médio) do satélite Landsat 5. Assim sendo, as etapas de registro e recorte foram realizadas somente nestas bandas.

O georreferenciamento consiste em um processo de correção geométrica que concede a uma imagem um sistema de coordenadas do mundo real e corrige eventuais deformações decorrentes do processo de aquisição da imagem de satélite. O georreferenciamento foi realizado na imagem de 2008, utilizando 10 pontos de controle medidos na carta topográfica de Estrela, em escala 1:50.000, elaborada pela Diretoria do Serviço Geográfico do Exército (DSG, 1980). O erro médio quadrático (RMS) do georreferenciamento foi controlado com valor inferior a 1 pixel, ou seja, inferior a 30 metros. As imagens de satélite de 1997, 1987 e 1976 foram registradas utilizando a imagem georreferenciada de 2008 como referência. Esta etapa também foi realizada com a marcação de 10 pontos de controle, com controle do RMS de até 1 pixel. A distribuição dos pontos de controle foi realizada de modo que cada quadrante da

área de estudo recebesse, pelo menos, 20% do total de pontos. Por último, a disponibilidade do limite municipal de Teutônia permitiu a criação de uma máscara para realizar o recorte das bandas georreferenciadas do conjunto de imagens.

3.2 Mapeamento das Áreas Florestais

De acordo com Ponzoni e Chimabukuru (2007), a identificação de objetos em imagens produzidas por sensores remotos mediante interpretação visual é eficaz quando o interesse é acessar as características geométricas e a aparência geral desses objetos. Contudo, o uso do computador para o tratamento digital das imagens possibilita a análise de tantos pixels e de tantas bandas quanto forem necessárias. As técnicas de classificação digital envolvem a utilização de métodos pelos quais pixels são associados a classes, de acordo com características espectrais. A classificação digital é um processo de reconhecimento de padrões e de objetos homogêneos e aplica-se ao mapeamento de áreas consideradas pertencentes a uma única classe de objetos que constituem a legenda do mapeamento pretendido.

As áreas florestadas de Teutônia foram classificadas pelo método supervisionado da Máxima Verossimilhança Gaussiana. Este classificador utiliza apenas a informação espectral de cada pixel para definir regiões homogêneas e se fundamenta em métodos estatísticos (PONZONI e CHIMABUKURU, 2007). As amostras de treinamento utilizadas para treinar o classificador foram coletadas sobre uma composição colorida procurando compreender toda a variação dos níveis de cinza das áreas florestais. As imagens temáticas resultantes das áreas florestais, para cada ano analisado, foram validadas de forma heurística e com pontos de controle terrestres medidos em campo.

3.3 Mapeamento das Áreas Urbanizadas

O mapeamento da área urbanizada de Teutônia foi realizado a partir da reclassificação dos níveis de cinza das bandas correspondentes ao vermelho visível, isto é, da banda 5 da imagem de 1976 e da banda 3 das imagens de 1987, de 1997 e de 2008. A banda correspondente ao vermelho foi utilizada por ser mais sensível a curva espectral das áreas urbanas em relação às demais bandas disponíveis. Este procedimento foi utilizado por apresentar melhores resultados, inclusive em relação aos métodos de classificação supervisionada, utilizando as 3 bandas multiespectrais. A validação da área urbana mapeada em cada ano analisado foi realizada de forma heurística, com base na imagem utilizada em nível de cinza e também com base em composições coloridas RGB.

3.4 Mapeamento das Áreas de Uso Agropecuário

Em virtude deste estudo focar a dinâmica temporal e espacial das áreas florestais e das áreas

urbanizadas, o demais usos antrópicos foram agrupados em uma única classe temática, representada pelas áreas de uso agropecuário. Uma vez que a delimitação das áreas florestais e das áreas urbanizadas foi descrita anteriormente, o restante da paisagem do município consiste de áreas de uso agropecuário e de outros usos em menor proporção. Assim sendo, com o uso de álgebra de mapas foram gerados os mapas temáticos do uso e cobertura da terra de cada ano analisado.

3.5 Técnica de Detecção das Mudanças

Do conjunto de imagens de satélite utilizadas no estudo, as imagens do satélite Landsat 5 permitem a geração de informações na escala de trabalho 1:100.000, enquanto a imagem de 1976, do Landsat 2, permite a obtenção de resultados na escala aproximada 1:250.000. De acordo com as escalas usuais utilizadas em planejamento ambiental, os resultados do presente estudo estão enquadrados em um escala Semi-Detalhada a de Reconhecimento, que são aceitáveis para a avaliação proposta.

Uma vez que o conjunto de imagens utilizado no estudo apresenta resoluções espaciais diferentes, os pressupostos teóricos sugerem a reamostragem do tamanho dos pixels da imagem com maior resolução (30 metros) para uma resolução igual à imagem com menor resolução (80 metros). O resultado dessa amostragem, além de alterar significativamente a estrutura original da imagem, geraria uma escala de trabalho aproximada para toda a análise de 1:250.000, aspecto que reduz o potencial de interpretação sobre as imagens originais.

Ao mesmo tempo, a técnica de detecção de mudanças proposta no estudo não utiliza comparações ou mesmo razões diretas entre bandas de dois períodos distintos. O presente método baseia-se na determinação das mudanças com base na comparação dos resultados advindos de processos de classificação supervisionada. De acordo com Coppin *et al.*, (2004), a principal vantagem desta técnica reside na independência entre as imagens temporais, fato que minimiza os problemas de correção e de normalização radiométrica, além de que, acessoriamente, um bom esquema de classificação pode ajudar no foco da detecção de mudanças ao isolar as transformações que não importam.

Pelas considerações expostas, a equipe executora do estudo optou por não igualar a resolução espacial das imagens dos dois sensores e realizar a detecção de mudanças, com interesse principal na análise da mudança da classe de vegetação, com base na comparação dos resultados da classificação supervisionada das imagens dos quatro períodos. Ao mesmo tempo, a execução do estudo sob esta abordagem, partiu de um cenário inicial em 1976, com nível de detalhamento e precisão equivalente a escala 1:250.000, mas com uma melhora não desprezível dos mesmos quesitos para os anos de 1987, 1997 e 2008, quando a escala dos resultados é equivalente a 1:100.000. A Fig. 2 apresenta o fluxograma simplificado que ilustra os materiais utilizados e as

principais etapas metodológicas adotadas no pré-processamento das imagens de satélite e na avaliação temporal da paisagem do município de Teutônia.

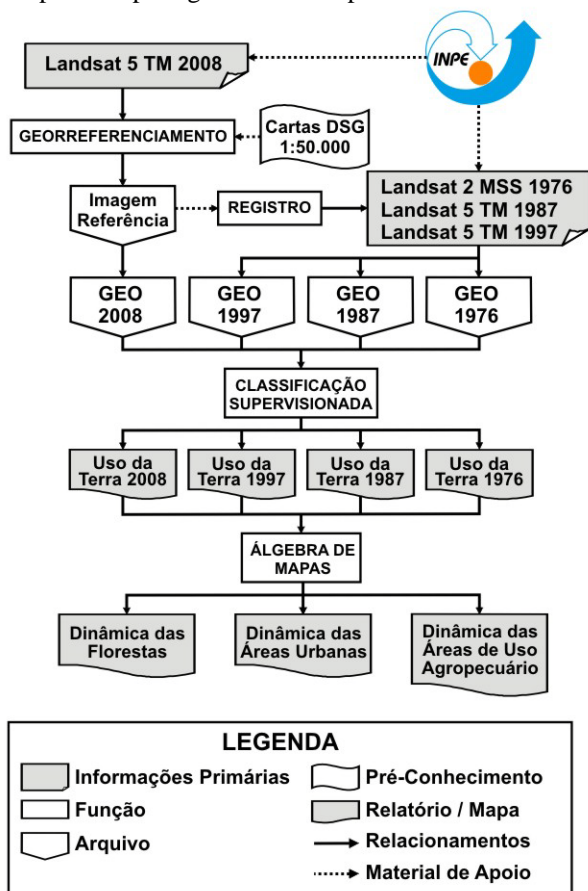


Fig. 2 - Fluxograma metodológico da avaliação temporal realizada em Teutônia

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados serão apresentados para cada imagem de satélite analisada neste estudo. Como descrito no capítulo da Metodologia, foi utilizada uma imagem MSS do satélite Landsat 2, de 1976 e três imagens TM do satélite Landsat 5, referente aos anos de 1987, de 1997 e de 2008.

4.1 Uso e Cobertura da Terra de 1976

A análise da imagem de satélite de 1976 revelou que 19,80% do município conservavam áreas florestais, enquanto as áreas de uso agropecuário somavam 79,86% da área. Os 0,34% restantes correspondiam à área urbanizada (Tab.4 e Fig. 3).

TABELA 4 - CENÁRIO DE USO E COBERTURA DA TERRA DE 1976.

Classe de Uso da Terra	Área (km ²)	%
Florestal Estacional	35,16	19,80
Área Urbanizada	0,60	0,34
Uso Agropecuário	141,80	79,86
Total	177,57	100,00

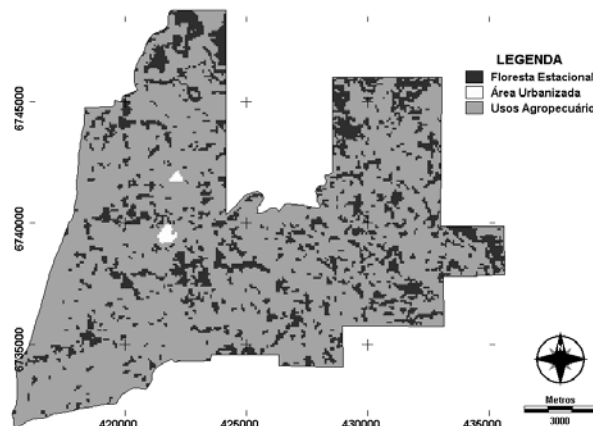


Fig. 3 - Mapa do uso e cobertura da terra de 1976

A análise do cenário de uso e cobertura da terra do ano de 1976 revelou a predominância de áreas de uso agropecuário, localizadas principalmente em áreas planas. As áreas florestais consistiam de fragmentos residuais, localizados nos topos dos morros, em altas declividades e compondo as matas ciliares em pontos isolados.

4.2 Uso e Cobertura da Terra de 1987

A análise da imagem de satélite de 1987 revelou uma tendência de redução das áreas de uso agropecuário e um consecutivo aumento das áreas florestais em relação ao ano de 1976. Além disso, a emancipação política favoreceu um aumento das áreas urbanizadas nesse período. Em 1987 as áreas florestais somavam 23,19%, as áreas de uso agropecuário totalizavam 79,86% e as áreas urbanizadas representavam 1,41% do município (Tab. 5 e Fig. 5).

TABELA 5 - CENÁRIO DE USO E COBERTURA DA TERRA DE 1987.

Classe de Uso da Terra	Área (km ²)	%
Florestal Estacional	41,18	23,19
Área Urbanizada	2,51	1,41
Uso Agropecuário	133,89	75,40
Total	177,57	100,00

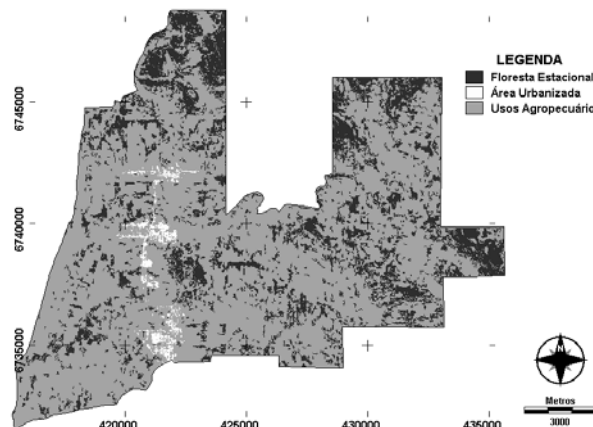


Fig. 4 - Mapa do uso e cobertura da terra de 1987

A análise do mapa de uso e cobertura da terra do ano de 1987 mostrou que a distribuição espacial das áreas florestais, de uso agropecuário e das áreas urbanizadas manteve o padrão do ano de 1976. De forma geral, as áreas de regeneração florestal ocorrem no entorno de áreas florestais existentes em 1976. Além disso, a análise da imagem de satélite permitiu constatar que a pressão antrópica sobre as matas ciliares se manteve neste período, reduzindo as áreas florestais ripárias. Além disso, áreas de uso agropecuário foram incorporadas à expansão imobiliária dos bairros Teutônia, Languiru e Canabarro, que, juntos, correspondem à área urbana da cidade de Teutônia.

4.3 Uso e Cobertura da Terra de 1997

A análise da imagem de satélite de 1997 confirmou a tendência de regeneração das áreas florestais nas bordas dos fragmentos florestais existentes e em áreas de uso agropecuário abandonadas, principalmente em áreas de difícil acesso. O abandono dessas áreas de uso agropecuário esteve relacionado com o processo de êxodo rural, que levou diversas famílias a fixarem moradia e exercerem atividades remuneradas na cidade de Teutônia, processo que foi registrado em todo o Brasil. Em 1997, 25,78% do município conservavam áreas florestais, enquanto as áreas de uso agropecuário somavam 71,69% da área. A área urbanizada manteve tendência de expansão, representando 2,53% do município em 1997.

A Tab. 6 apresenta o cenário de uso e cobertura da terra do município de Teutônia do ano de 1997, enquanto a Fig. 5 apresenta o mapa de uso e cobertura da terra do município de Teutônia para o mesmo ano.

TABELA 6 - CENÁRIO DE USO E COBERTURA DA TERRA DE 1997.

Classe de Uso da Terra	Área (km ²)	%
Florestal Estacional	45,77	25,78
Área Urbanizada	4,50	2,53
Uso Agropecuário	127,30	71,69
Total	177,57	100,00

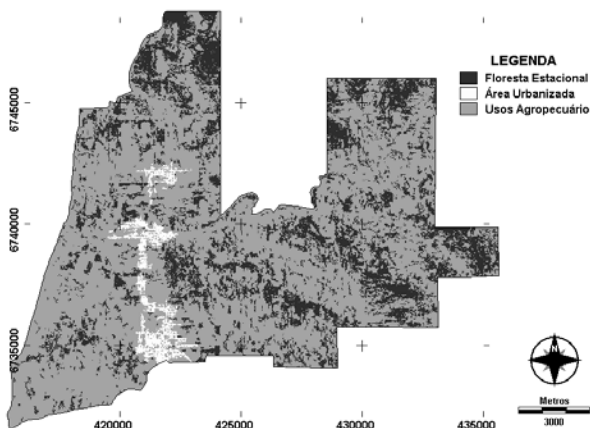


Fig. 5 - Mapa do uso e cobertura da terra de 1997

A análise do mapa de uso e cobertura da terra de 1997 mostrou a mesma evolução de 1987. Destaca-se o processo de urbanização, que tende a fundir os três bairros que formam a área urbana de Teutônia.

4.4 Uso e Cobertura da Terra de 2008

A análise da imagem de satélite de 2008 confirmou a tendência e a intensificação da alteração da paisagem registrada nos períodos anteriores. Novamente destacou-se a regeneração de áreas florestais em áreas de difícil manejo agropecuário. Nas áreas mais planas, registrou-se o processo de urbanização de áreas originalmente de uso agropecuário. Em 2008, 35,65% do município apresentavam cobertura florestal, enquanto as áreas de uso agropecuário somavam 60,22% da área de estudo. A área urbanizada manteve a tendência de forte expansão, representando 4,13% da área do município em 2008 (Tab. 7 e Fig. 6).

TABELA 7 - CENÁRIO DE USO E COBERTURA DA TERRA DE 2008.

Classe de Uso da Terra	Área (km ²)	%
Florestal Estacional	63,31	35,65
Área Urbanizada	7,33	4,13
Uso Agropecuário	106,93	60,22
Total	177,57	100,00

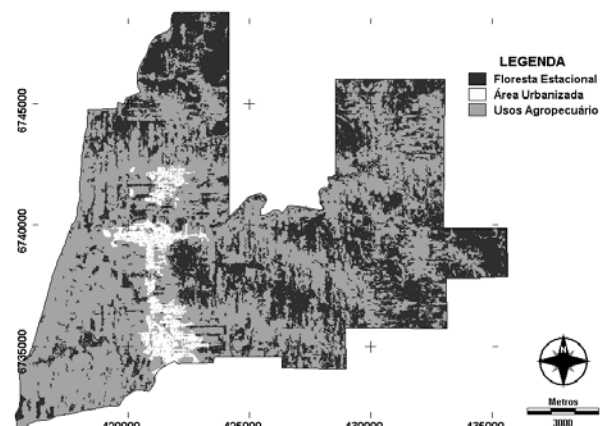


Fig. 6 - Mapa do uso e cobertura da terra de 2008

A análise do cenário de uso e cobertura da terra de 2008 permitiu constatar um processo de densificação das áreas florestais e das áreas urbanizadas. Percebeu-se que as áreas mais íngremes do município recuperaram considerável quantidade da sua cobertura vegetal em relação ao primeiro ano de análise. Além disso, a área urbana seguiu a tendência de praticamente dobrar a área urbanizada em um período de 10 anos.

Ao observar o mapa de uso e cobertura da terra nesse último período analisado, percebeu-se que as áreas de uso agropecuário, apesar de apresentarem tendência de redução da área total utilizada, mantiveram-se ou até foram ampliadas nas áreas mais planas, característica que favorece a mecanização da produção, maior produtividade e maior facilidade de trabalhar a terra.

4.5 Dinâmica da Paisagem de Teutônia

Como já abordado nos capítulos anteriores, a configuração espacial da paisagem, expressa pelos mapas de uso e cobertura da terra, decorre das ações naturais e antrópicas sobre esta. Assim sendo, a dinâmica da paisagem envolve, basicamente, a evolução espacial do sistema ao longo do tempo. A Tab. 8 e a Fig. 7 apresentam a síntese das mudanças das três classes de uso e cobertura da terra analisadas no período de 1976 a 2008 em Teutônia.

TABELA 8 - SÍNTESE DA EVOLUÇÃO DA PAISAGEM DE 1976 A 2008.

Data	Floresta Estacional (km ²)	Área Urbanizada (km ²)	Área de Uso Agropecuário (Km ²)
1976	35,16	0,60	141,80
1987	41,18	2,51	133,89
1997	45,77	4,50	127,30
2008	63,31	7,33	106,93

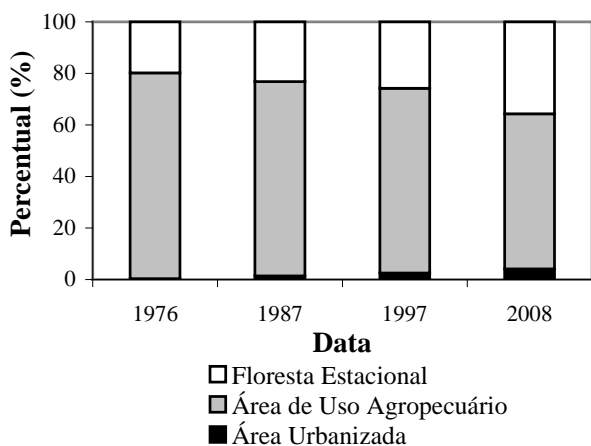


Fig. 7 - Evolução da paisagem de 1976 a 2008

A análise do gráfico acima aponta que as áreas florestais aumentaram no período de 1976 a 2008, sendo que esse aumento intensificou-se na última década. Em 1976 as áreas florestais representavam 19,80% da área do município e em 2008 representavam 58,80% do município. O aumento das áreas florestais no município de Teutônia no período analisado foi de 80%. Em relação à área total do município houve regeneração de 15,85% de florestas nos diversos estágios de sucessão.

As áreas de uso agropecuário registraram redução ao longo do período analisado, sendo que a intensificação da redução também foi registrada durante a última década. A análise da curva das áreas de uso agropecuário e das áreas florestais indica que as florestas regeneraram em áreas de uso agropecuário abandonadas, principalmente em terrenos declivosos. As áreas de uso agropecuário tiveram redução de 32,61% de 1976 até o ano de 2008, ocupando atualmente 22,22% do município.

Em 1976 a população de Teutônia era de 2.241 habitantes. Ao longo dos 42 anos analisados, as áreas

urbanizadas tiveram aumento considerável, acelerado por um notório desenvolvimento econômico e social a partir de 24 de maio de 1981, com o advento da emancipação política e que perdura até os dias atuais. A área urbanizada em 2008 é 12,22 vezes (ou 1.222%) maior que a área urbanizada no ano de 1976 e concentra 25.105 habitantes. As Fig. 8, 9 e 10 apresentam, respectivamente, a evolução temporal das áreas florestais, das áreas urbanizadas e das áreas de uso agropecuário do município de Teutônia dos anos de 1976 a 2008.

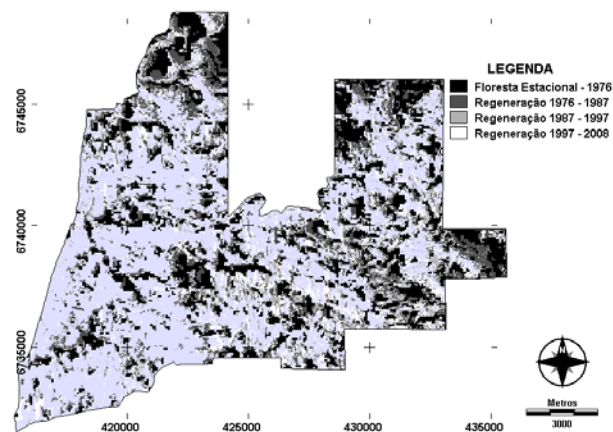


Fig. 8 - Dinâmica das áreas florestais de Teutônia

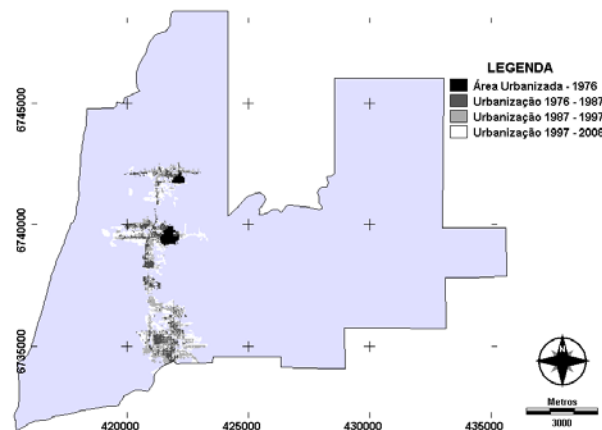


Fig. 9 - Dinâmica das áreas urbanizadas de Teutônia

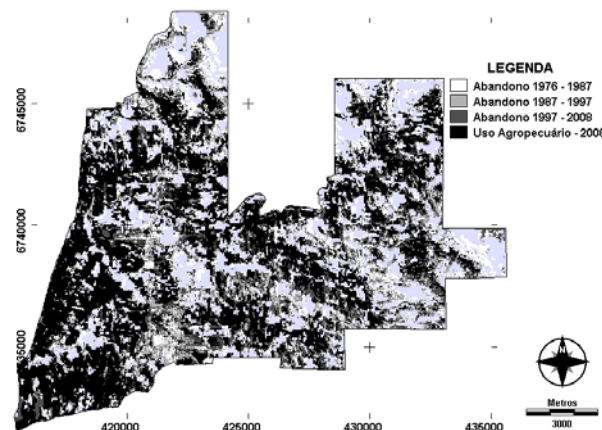


Fig. 10 - Dinâmica das áreas de uso agropecuário de Teutônia

5. CONCLUSÕES

O presente estudo explorou aspectos relativos à utilização de dados de sensoriamento remoto para detectar mudanças na paisagem do município de Teutônia, localizado no Rio Grande do Sul. O estudo avaliou as mudanças registradas nas florestas nativas, nas áreas urbanizadas e nas áreas de uso agropecuário. Em termos gerais, conclui-se que desde 1976, período inicial da análise, está ocorrendo um processo de redução das áreas agropecuárias, que estão sendo ocupadas por áreas urbanas e também por estágios sucessionais de floresta em regeneração.

Os resultados obtidos pelo estudo, mesmo tendo sido utilizadas imagens de satélite de sensores e resoluções espaciais diferentes permitiram reconstituir a dinâmica de uso e cobertura da terra. A opção de não integrar as escalas de trabalho das imagens com resoluções espaciais diferentes, aparentemente, não afetou os resultados, uma vez que as classes analisadas apresentam tendência de mudança semelhante em todo o período analisado.

Ao mesmo tempo, a utilização de imagens de satélite com resolução espacial de 30 a 80 metros, que permitem escalas de trabalho de 1:100.000 a 1:250.000, permitem o acompanhamento das principais mudanças na paisagem, como por exemplo, mudanças na cobertura vegetal, na área de uso agropecuário e de uso urbano. A análise de mudanças com maior detalhe ao longo do tempo, envolvendo, por exemplo, fisionomias vegetais distintas, estágios de regeneração florestal, tipos de cultivares agrícolas, pastagens naturais e artificiais, entre outros, exigem a adoção de uma escala de trabalho maior, e consecutivamente, a utilização de imagens de satélite com maior resolução espacial. Além disso, outras técnicas de detecção de mudanças podem gerar resultados mais fidedignos.

Em relação aos resultados obtidos, estes apontam que nas décadas passadas as pressões antrópicas decorrentes da atividade agrícola eram muito mais intensas que na atualidade. Naquele período, a existência de famílias numerosas e uma menor mecanização da produção agrícola favoreciam o uso intensivo para a produção de alimentos do solo mesmo em terrenos com elevadas declividades. Esses aspectos geraram um quadro ambiental delicado no município, reduzindo a cobertura vegetal nativa a percentuais inferiores a 20% da área do município, que é o limite da área de Reserva Legal para áreas localizadas fora da Amazônia Legal.

A redução das áreas agropecuárias resultou da fixação de população rural nas áreas urbanas, que buscavam melhores condições de trabalho, acesso aos serviços de saúde e lazer. A instalação de grandes empresas no município foi outro motivo que favoreceu o êxodo rural e a imigração de trabalhadores de outros municípios. Estes aspectos favoreceram o elevado crescimento urbano registrado em Teutônia. O abandono das áreas agropecuárias foi mais intenso nas

áreas com elevadas declividades. Essas áreas agropecuárias abandonadas, dentro de um processo natural, ao longo dos 42 anos analisados, foram recuperando a cobertura florestal.

Outro fator que pode justificar o aumento das áreas florestais no município de Teutônia é o cultivo de espécies florestais exóticas, como eucaliptos, pinus e acácia. Neste estudo, estas áreas foram somadas com as áreas florestais. Mas, mesmo assim, essas áreas com florestas exóticas não são significativas na paisagem do município.

A recuperação florestal constatada neste estudo no município de Teutônia segue uma tendência registrada em todo o estado do Rio Grande do Sul. Esta tendência é altamente positiva sob o aspecto ambiental, visto que reduz a pressão sobre o solo e os recursos hídricos, além de criar condições mais favoráveis para que a fauna encontre alimentos e abrigo.

Por último, é importante considerar que a detecção de mudanças no uso e cobertura da terra por sensoriamento remoto permite reconstituir como determinada área foi utilizada em cada período de tempo, e assim, compreender a dinâmica da paisagem. Se a tendência de alteração da paisagem se mantiver semelhante às últimas décadas, provavelmente, em um futuro próximo, as áreas florestais irão compor a matriz da paisagem do município de Teutônia.

AGRADECIMENTOS

Este artigo apresenta resultados advindos do Trabalho de Conclusão do curso de especialização em Bases Ecológicas para a Gestão Ambiental elaborado pelo primeiro autor. Cabe um agradecimento especial ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, que pela sua política de disponibilizar gratuitamente o acervo de imagens do satélite Landsat, incentiva que estudos, como o apresentado neste artigo, possam ser realizados com custos incipientes e resultados com a qualidade requerida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, A. C.; VIEIRA, I. C. G.; NEPSTAD, D. C.; LEFEBVRE, P. Análise multitemporal do uso do solo e mudança da cobertura vegetal em antiga área agrícola da Amazônia Oriental. In: VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, 1996. *Anais*. INPE, p. 475-478, 1996.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: **Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura**. ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). Brasília: Embrapa, 1998. p. 3-11.

CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO, A. P. F.; GOMES, R. A. T.; MELO, A. F.; SILVA, P. A. Processamento e análise de imagens multitemporais para o perímetro de irrigação de Gortuba (MG). In: XII Simpósio Brasileiro de

- Sensoriamento Remoto, Goiânia, 2005. **Anais. INPE**, p. 473-480, 2005.
- CENDRERO, A. Mapping and evaluation of coastal areas for planning. **Ocean and Shoreline Management**, Amsterdam, v. 12, p. 427 - 462, 1989.
- COPPIN, P.; JONCKHEERE, I.; NACKAERTS, K.; MUYS, B.; LAMBIN, E. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. **International Journal of Remote Sensing**. Taylor e Francis Ltda, n. 9, p. 1565-1596, 10 mai. 2004.
- DSG - Diretoria do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro. **Carta Topográfica de Estrela**, Folha SH. 22-V-D-V-1, MI 2969/1, Escala 1:50.000. 2 ed. Porto Alegre: DSG, 1980.
- DUARTE, W. O.; BRITO, J. L. S. Análise temporal do uso da terra e cobertura vegetal do alto curso do rio Uberabinha utilizando imagens CBERS 2. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, 2005. **Anais. INPE**, p. 2965-2972, 2005.
- EASTMAN, J. R. **Idrisi Kilimanjaro Tutorial**. Worcester: Clark Labs University, 2003. 270 p.
- FAO. **Project on classification of tropical vegetation types in Ásia**. Methodology an applications: first draft. Project FAO n. 20, 1986.
- FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de textos, 2002, 97 p.
- GARCIA, J. M. P.; XAVIER-DA-SILVA, J.; GÓES. M. H. de B.; DIAS, J. E. Avaliação ambiental por geoprocessamento para delimitação e classificação de áreas de suscetibilidade a movimentos de massa na região de Itatiaia, Estado do Rio de Janeiro. **Caminhos de Geografia**. v. 7, n. 17, p. 199-209, Fev. 2006.
- GIOTTO, E. **Aplicabilidade de Imagens RBV do LANDSAT 3 em levantamento do uso da terra no município de Tapera - RS**. 1981. 66 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, 1981.
- HUANG, C. TOWNSHEND, J. R. G.; XIWU, Z. HANSEN, M.; DEFRIES, R.; SOHLBERG, R. Detecting land cover changes based on their trajectories in the spectral space. In: Geosciences and Remote Sensing Symposium. Proceedings, IGARSS, **IEEE International**, vol. 5, p. 1984-1986, 2000.
- HUETE, A. R. Adjusting vegetation indices for soil influences. **International Agrophysics**. v. 4, n. 4, p. 367-376, 1988.
- ITT Visual Informations Solutions. **ENVI 4.5 Help**. Boulder: ITT, 2007.
- LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Uniderp, 2006. 908 p.
- MILARÉ, E. Estudo prévio de impacto ambiental no Brasil. In: **Previsão de Impactos: o estudo de impacto ambiental no Leste, Oeste e Sul. Experiências no Brasil, na Rússia e na Alemanha**. AB' SABER, A. N.; MÜLLER-PLANTENBERG, C. (Org.). 2 ed. São Paulo: Edusp, 2006, p. 50-83.
- MORAES, L. A. F. de. **Subsídios para o gerenciamento dos recursos naturais da sub-bacia do Rio Paraná, em um trecho entre Porto São José e Jupiá**. 2000. 309 p. Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais), Departamento de Biologia, Universidade Estadual de Maringá (UEM). Maringá, 2000.
- PABLO, C. L. de; AGAR, P. M. de; BARTUREN, R.; NICOLAS, J. P.; PINEDA, F. D. Design of a information system for environmental planning and management (SIPA). **Journal of Environmental Management**, New York, v. 40, p. 231-243, 1994.
- PEDREIRA, B. da C. C. G.; SANTOS, R. F. Avaliação de escalas de 1:25.000 1:100.000 em mapeamento da vegetação orientado a planejamentos ambientais. **Cadernos de Informações Geográficas**, Campinas, v. 4, 1999.
- PONZONI, F. J.; CHIMABUKURU, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 136 p.
- RANIERI, V. E. L. **Discussão das potencialidades e restrições do meio como subsídio para o zoneamento ambiental: o caso do município de Descalvado (SP)**. 2000. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Hidráulica, Universidade de São Paulo (USP). São Carlos, 2000.
- REFOSCO, J. C. Modelos dinâmicos espaciais e sua utilização na análise de mudanças do uso do solo regional. In: **Geoinformação em urbanismo: cidade real X cidade virtual**. ALMEIDA, C. M. de; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). São Paulo: Oficina de Textos, 2007, p. 328-366.
- REITZ, R.; KLEIN, R.M.; REIS, A. Projeto madeira do Rio Grande do Sul. **Sellowia**, Itajaí, v. 34/35, n. 34/35, p. 5-483, 1983.
- REMPEL, C.; SUERTEGARAY, D.; JASPER, A. Aplicação do sensoriamento remoto para determinação da evolução da mata nativa da bacia hidrográfica do Rio Forqueta - RS entre 1985 e 1995. **Pesquisas Caderno**

de Botânica, São Leopoldo, v. 51, n. 1, p. 101-112, 2001.

RIO GRANDE DO SUL. Governo do Estado. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFSM / SEMA, 2002. Disponível em <<http://coralx.ufsm.br/ifers/index.php>> Acesso: 15 de janeiro 2009.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental** - teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184 p.

SANTOS, R. F. dos (ORG.). **Vulnerabilidade Ambiental** - Desastres Naturais ou Fenômenos Induzidos? Brasília: MMA, 2007. 192 p.

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

WATRIN, O. S. dos; VENTURIERI, A.; SAMPAIO, S. M. N. Análise multitemporal do uso da terra e suas interações com a cobertura vegetal em comunidades rurais do nordeste paraense. In: IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, 1998. **Anais**. INPE, p. 1573-1583.

WHITE, P. S.; MC KENZIE, M. Remote sensing and landscape pattern in Great Smoky Mountains National Park Biosphere Reserve. North Caroline and Tennessee. In: DYER, M. I.; CROSSLEY, JR. D. A. (Ed.) **Coupling of ecological studies with remote sensing: potentials at four Biosphere Reserves in United States**. Washington: Man and the Biosphere Program, Department of State Publication 9504. Bureau of Oceans and International Environmental Affairs, 1986.