63731 (7)

Rev. Tecnol. Ambiente, Criciúma, v.8, n.1, p. 93-114, jan./jun. 2002

MAPEAMENTO DE USO DO SOLO MULTITEMPORAL POR IMAGENS DE SATÉLITE NA REGIÃO SUL DO MUNICÍPIO DE CRICIÚMA – SC (Área Piloto)

Mapping of the multitemporal use of the soil through satélite images in the south region of Criciúma – SC (Pilot Area)

Leonardo Campos Inocencio*
Eder Luis Santo**

Resumo

O presente trabalho foi realizado pelo Centro de Cartografia, Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto (CeGeo) do IPAT – UNESC, com o intuito de verificar as aplicações de imagens de satélite na geração de mapas de uso do solo da região Carbonífera de Santa Catarina em dois períodos, buscando suprir, dessa forma, a falta de dados históricos a respeito da situação ambiental desta região. Foram utilizadas no estudo imagens Landsat TM-5 e ETM+ obtidas em 1996 e 1999 respectivamente. Essas imagens foram georeferenciadas utilizando-se coordenadas coletadas em campo por meio de GPS com precisão geodésica. As imagens, já devidamente alocadas em um SIG, tiveram seus padrões espectrais classificados digitalmente pelo classificador MAXVER, e, a partir dessas imagens classificadas, foram gerados os mapas de uso do solo de 1996 e 1999, dados esses que são uma ferramenta extremamente importante para complementar qualquer trabalho, seja ele de monitoramento ou planejamento ambiental, além de mostrar a dinâmica do desenvolvimento regional em relação às áreas degradadas por mineração de carvão e depósitos de seus rejeitos.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, uso do solo, Sistema de Informações Geográficas (SIG), classificação digital de imagens.

* UNESC, IPAT, Centro de Cartografia, Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Técnico em Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Graduando em Engenharia de Agrimensura. E-mail: leonardo@unesc.rct-sc.br
** UNESC, IPAT, Geólogo, M.Sc. em Engenharia Mineral. E-mail: santoel@unesc.rct-sc.br

BIBLIOTECA CENTRAL "[illegible]" BACK - UNESC

The present work was realized by the Center of Cartography, GIS and Remote Sensing (CeGeo) of the IPAT – UNESC, with the objective of verifying the feasibility of the use of remote sensing data to generate land cover maps in the coal region of Santa Catarina in different periods, in order to supply the lack of historical data about the environmental condition of this region. Landsat TM-5 and ETM+ images from 1996 and 1999 were used in this work. These images were geo-rectified by coordinates collected through GPS. The images, already stored in a GIS, had their spectral patterns digitally classified using MAXVER classifier. The information obtained using Remote Sensing and GIS is extremely useful and important for the environmental planning and management, specially because it shows the regional development dynamics regarding areas of coal mining and coal waste disposal.

Keywords: remote sensing, land cover, Geographic Information Systems (GIS), digital images classification.

Introdução

Nos últimos 20 anos, o avanço da tecnologia causou grandes mudanças nas ciências ligadas ao meio ambiente e ao mapeamento em geral. O advento da era dos satélites tornou possível a obtenção de informação confiável, com grande repetitividade e a um custo relativamente baixo.

Segundo Jensen (2000), sensoriamento remoto pode ser definido como a arte e a ciência de obter informação sobre um determinado objeto sem ter contato físico direto com o mesmo. O principal objetivo do sensoriamento remoto é a aquisição de informações sobre a superfície terrestre, as quais podem ser utilizadas, entre diversas outras finalidades, para a análise de recursos naturais e no monitoramento ambiental.

Um aspecto importante relativo aos dados remotos refere-se ao preço de aquisição, pelo usuário, de uma imagem de satélite e a diversidade de trabalhos que podem ser realizados. Tomando como exemplo uma imagem completa do Landsat, muito utilizada em análises ambientais, por exemplo, com suas oito bandas, pode gerar produtos referentes à vegetação, ao uso do solo, às categorias de solos e rochas, à detecção de fraturas e fenômenos hidrotermais, isso citando somente algumas utilidades. Até mesmo para a detecção da concentração de clorofila na água, as imagens de satélite podem ser utilizadas.

Segundo Jensen (1996), a aquisição de dados via sensoriamento remoto é possível graças às características que todos os corpos, constituídos de qualquer material e que possuam temperatura superior ao zero absoluto (0 K), possuem de emitir, refletir, transmitir ou absorver a radiação eletromagnética, que é o fundamento principal de estudo no sensoriamento remoto.

Uma imagem de satélite pode ser descrita como dados armazenados como uma matriz de números. Cada valor se encontra em uma determinada linha e coluna, sendo identificado como um "pixel" (*picture element*), o menor elemento não divisível de uma imagem digital. Essa mesma imagem pode ser constituída por várias bandas em diferentes áreas do espectro eletromagnético, permitindo a detecção de diversos tipos de informações que são imperceptíveis ao olho.

Área de estudo

A área de estudo está localizada a sudoeste do município de Criciúma e a nordeste do município de Forquilhinha, entre as coordenadas 28° 42' 09" S e 28° 49' 41" S Latitude Sul e 49° 24' 04" W e 49° 29' 05" W Longitude Oeste, totalizando 135 quilômetros quadrados.

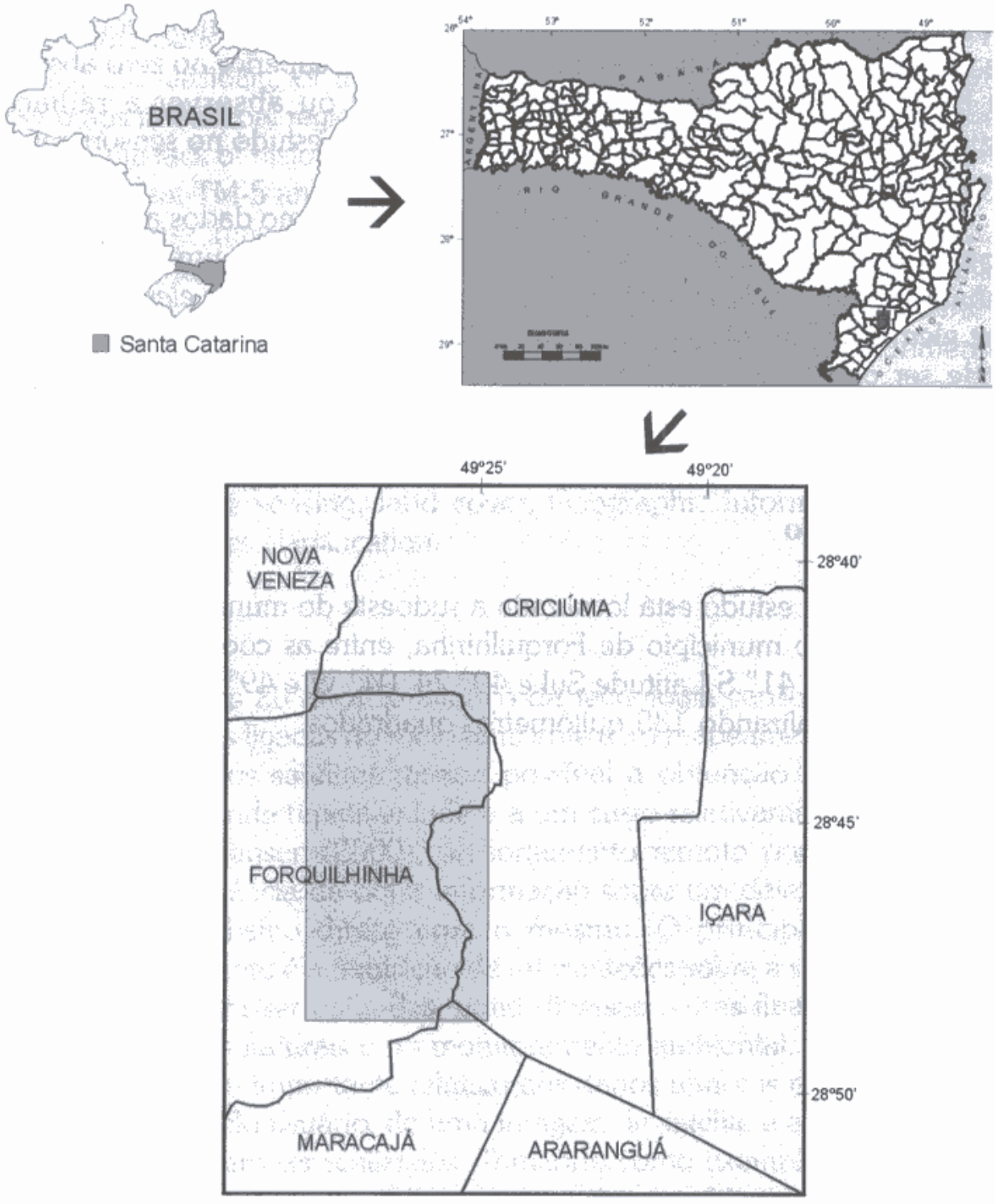


Figura 1: Localização da área de estudo

Características do satélite Landsat 7

Pelos registros da NASA (National Aeronautic and Space Administration), o primeiro dos sete satélites Landsat foi posto em órbita em 1972. Essa série de satélites tem uma trajetória quase-polar tendendo para oeste, de modo que podemos ter imagens completas do globo terrestre a cada 16 dias. Todos os dados são coletados a bordo do satélite por dois sensores: o Multispectral Scanner (MSS) e o Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). Os dados são transmitidos para estações receptoras em terra e transformados em imagens para serem estudados e analisados pelos cientistas.

Atualmente, o sensor que está sendo mais utilizado é o ETM+, por sua excelente distribuição de bandas e resolução espacial. As imagens TM abrangem uma área de 185 X 185 km^2. É possível diferenciar elementos de aproximadamente 30 metros nas bandas visíveis e de infravermelho próximo, 60 metros na banda termal e 15 metros na nova banda pancromática. Com a melhor resolução espacial do ETM+ é possível conduzir investigações e análises em escalas compatíveis com requerimentos exigidos tanto pelas indústrias quanto pela comunidade científica.

Quadro 1: Características do sensor ETM+

Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)		
Área de varredura		**185 X 185 Km**
Resolução espacial		15 metros (Pancromática) 30 metros (Multiespectral) 60 metros (Termal)
Bandas espectrais	1	0,450 – 0,515 μm (azul)
	2	0,525 – 0,605 μm (verde)
	3	0,630 – 0,690 μm (vermelho)
	4	0,750 – 0,900 μm (infravermelho próximo)
	5	1,550 – 1,750 μm (infravermelho onda curta)
	6	10,40 – 12,50 μm (infravermelho termal)
	7	2,080 – 2,350 μm (infravermelho onda curta)
	8	0,520 – 0,900 μm (Pancromática)
Resolução radiométrica		256 níveis de cinza

O TM produz imagens em oito bandas espectrais: uma para a região do azul, uma no verde, e uma no vermelho; uma no infravermelho próximo, duas no infravermelho refletido, uma no infravermelho termal e uma pancromática. Para a sua utilização, fazem-se combinações dessas bandas com o objetivo de ressaltar um elemento específico. Por exemplo, a banda dois, representada em azul, a três em verde e a quatro em vermelho, combinação chamada de falsa cor, permite diferenciar entre bosques decíduos e coníferas, também entre cursos de água e caminhos.

Abaixo citamos as principais características e aplicações das bandas do sensor ETM+ do satélite Landsat 7 (NASA, 1996):

- **Banda 1** (0,45 - 0,52 mm) Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
- **Banda 2** (0,52 - 0,60 mm) Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
- **Banda 3** (0,63 - 0,69 mm) A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da vanação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem pela visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
- **Banda 4** (0,76 - 0,90 mm) Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, per-

mitindo a obtenção de informações sobre geomorfologia, solos e geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com pinus e eucalipto. Serve para mapear áreas de queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.

- **Banda 5** (1,55 - 1,75 mm) Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
- **Banda 6** (10,4 - 12,5 mm) Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
- **Banda 7** (2,08 - 2,35 mm) Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre geomorfologia, solos e geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxila. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.
- **Banda 8** (0,52 - 0,90 mm) Banda pancromática, semelhante a uma fotografia aérea, pois abrange praticamente toda a faixa visível do espectro eletromagnético. Esta banda possui uma característica singular: uma resolução espacial melhorada de 15 metros, que possibilita uma visualização de objetos como rodovias principais e loteamentos.

3. Fundamentação teórica

3.1. Processamento de Imagens Digitais

O processamento digital de imagens consiste na manipulação de uma imagem em um ambiente computacional. Essa manipulação visa à melhoria de determinadas características das imagens para facilitar a identificação ou extração de feições nelas presentes. Uma das principais utilizações desse procedimento recai sobre as imagens de satélite, como as do Landsat, SPOT, ERS1, entre outros, sendo de extrema importância para a realização de pesquisas sobre recursos naturais. Pelo processamento digital de imagens, pode-se proceder à identificação e à discriminação dos alvos de interesse, dependendo principalmente da qualidade dos dados contidos na imagem. Os me-

lhores resultados são obtidos a partir de imagens produzidas por sensores multiespectrais.

As técnicas de processamento digital de imagens permitem analisar uma cena em várias regiões do espectro eletromagnético (bandas) e integrar seus dados, após seu devido registro, com informações obtidas em campo.

O processamento digital pode ser dividido em várias etapas. Entre elas, destaca-se o pré-processamento, o realce e a classificação. O pré-processamento consiste na análise visual e também na calibração radiométrica da imagem, correção das distorções geométricas e remoção de ruído. O realce visa à melhoria de uma determinada característica da imagem, mesmo que em detrimento das demais. Por último, mas não menos importante, temos o processo de classificação no qual são identificadas categorias de objetos com características espectrais semelhantes (CÂMARA & DAVIS, 1999).

3.2. Correção geométrica de dados de sensores remotos

Os dados obtidos por sensores remotos comumente possuem dois tipos de erros geométricos: distorções sistemáticas e distorções não sistemáticas. A maior parte dos erros sistemáticos pode ser corrigida utilizando-se os dados das efemérides (órbitas) e da distorção padrão do sensor, mas a variação de altitude dos alvos causa uma alteração na escala dos objetos. Para corrigirmos esse erro, utilizamos pontos de controle que podem ser facilmente identificados em campo e na imagem.

Os pontos de controle podem ser adquiridos em campo, com GPS ou outro sistema de identificação de coordenadas, ou utilizando os dados retirados de uma base confiável. A retificação ou georeferenciamento da imagem é realizada utilizando-se a grade gerada pelos pontos de controle.

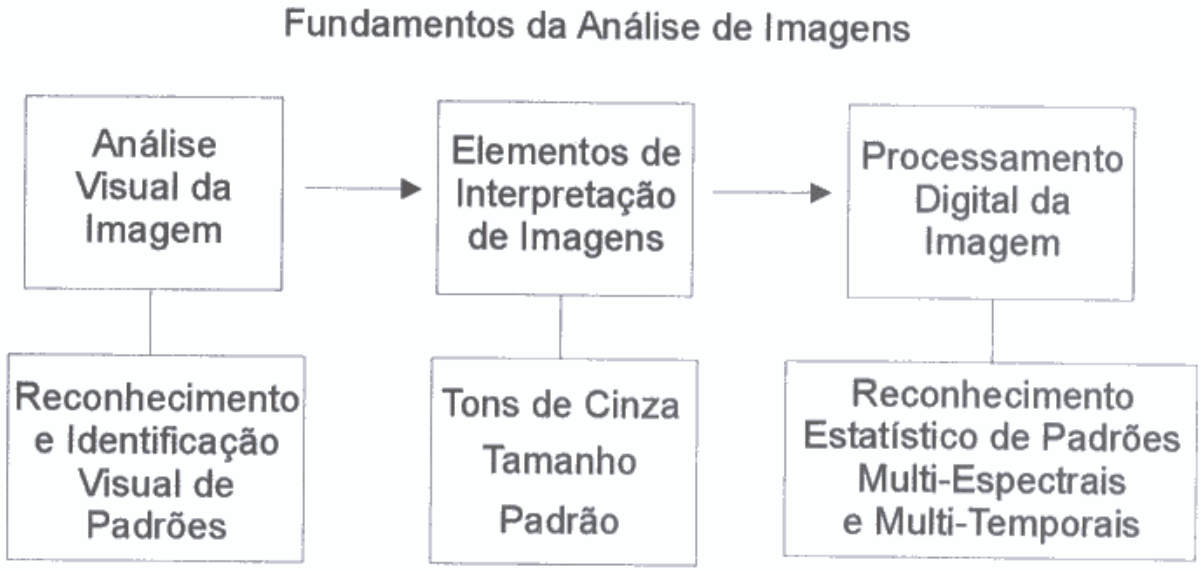


Figura 2

3.3. Classificação digital de padrões

O processo de classificação visa à extração de informação de imagens por intermédio do reconhecimento de padrões e objetos homogêneos. Esses métodos são utilizados para mapeamento de áreas da superfície terrestre que apresentam as mesmas características em imagens digitais.

A informação de uma cena pode ser representada de forma que cada imagem espectral possua "pixels" com coordenadas espaciais **X**, **Y** e a coordenada espectral **L**, que representa a radiância de um alvo em uma determinada faixa de comprimento de onda em uma banda espectral.

Cada "pixel" de uma determinada banda possui um outro "pixel" correspondente em outra banda, de modo que, para uma imagem com **K** bandas, existem **K** níveis de cinza associados a esse "pixel", um em cada banda espectral. Ao conjunto de dados espectrais de cada "pixel" denota-se o termo "atributos espectrais". Assim, utilizando-se o processo de classificação em imagens de satélite, serão agrupados em uma mesma classe aqueles "pixels" que apresentarem níveis de cinza (tonalidade de cinza) semelhantes.

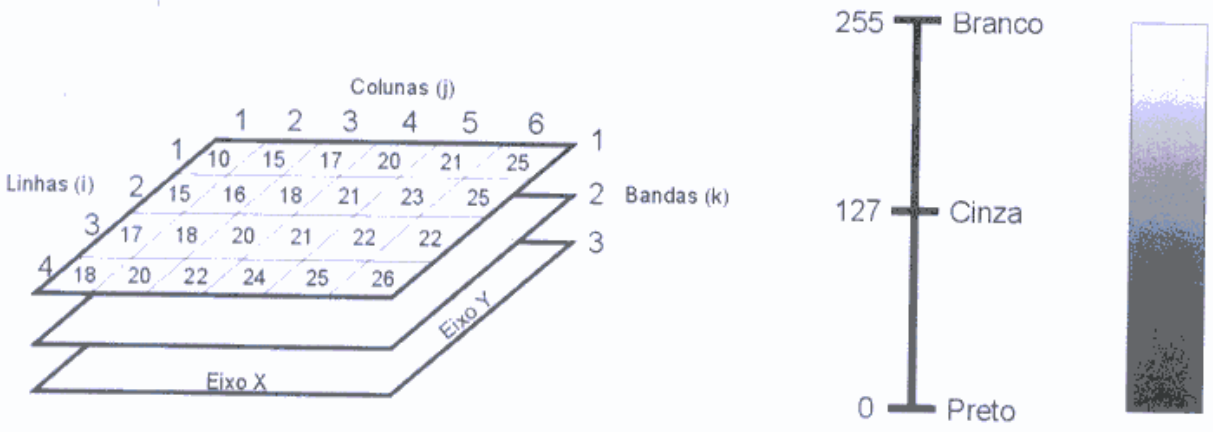


Figura 3: Modelo esquemático de imagens de satélite (modificado de Jensen, 2000)

Os algoritmos de classificação de imagens digitais podem ser divididos em dois tipos: o classificador "pixel a pixel", utilizado neste trabalho, e o classificador por região. Os classificadores "pixel a pixel" são aqueles que utilizam apenas a informação espectral de cada pixel, isoladamente, para achar regiões homogêneas.

O resultado de uma classificação pode ser representado por classes espectrais, que são áreas que possuem características espectrais semelhantes. No atual trabalho temos o mapeamento de uso do solo da área de estudo por meio de imagens multiespectrais. Nessa classificação foi considerada a relação entre a resposta espectral dos alvos e as classes que se desejava mapear, tendo como resultado uma imagem representada por símbolos gráficos e cores. A classificação digital transforma um grande número de níveis de cinza nas diversas bandas espectrais em um pequeno número de classes temáticas em uma imagem (CÂMARA, 1998).

3.4. Passos utilizados na classificação multiespectral

O primeiro passo de uma classificação multiespectral é o treinamento. A fase de treinamento consiste no reconhecimento da "assinatura espectral" de cada classe de informação que será classificada. Esse reconhecimento pode ser realizado de duas maneiras: supervisionada e não-supervisionada. Pelo método não supervisionado, o sistema faz a varredura e gera por si só

um determinado número de classes espectrais definidas pelo usuário. No final do processo, cada classe é atribuída a um determinado tipo de informação. No método supervisionado, ao contrário do primeiro, o usuário tem total controle sobre o processo de classificação, uma vez que, dispondo de informações a respeito da área de estudo, torna-se possível definir manualmente, com o uso do mouse, áreas de interesse que sejam representativas de cada uma das classes.

É importante que, durante o treinamento supervisionado, cada amostra seja homogênea, mas ao mesmo tempo deve incluir toda variação possível dos níveis de cinza dessa determinada classe. Recomenda-se a aquisição do maior número possível de amostras no treinamento, facilitando e melhorando o processo de classificação. É necessária a obtenção de 10 a 100 "pixels" por classe, variando de acordo com o aumento da variabilidade entre as classes (LOPES, 1998).

3.5. O classificador MAXVER

O termo **MAXVER** vem do método estatístico de **Máxima Verossimilhança**, e é o método de classificação "pixel a pixel" mais comumente utilizado e difundido, apresentando melhores resultados. Esse método considera, utilizando parâmetros estatísticos, a ponderação das distâncias médias entre os "pixels" com níveis de cinza semelhantes, agrupando-os quando possível. Para que a classificação por máxima verossimilhança seja precisa o suficiente, é necessário um número razoavelmente elevado de "pixels" para cada conjunto de treinamento. Os conjuntos de treinamento definem o diagrama de dispersão das classes e suas distribuições de probabilidade, considerando a distribuição de probabilidade normal para cada classe do treinamento.

Apresentam-se duas classes (1 e 2) com distribuição de probabilidade distintas, essas distribuições de probabilidade representam a probabilidade de um "pixel" pertencer a uma ou outra classe, dependendo da posição do "pixel" em relação a essa distribuição.

Observa-se uma região onde as duas curvas sobrepõem-se, indicando que um determinado "pixel" tem igual probabilidade de pertencer às duas classes. Nessa situação estabelece-se um critério de decisão a partir da definição de limiares. Os limites de classificação são definidos a partir de

pontos de mesma probabilidade de classificação de uma e de outra classe. O limiar de aceitação indica a porcentagem de "pixels" da distribuição de probabilidade de uma classe que será classificada como pertencente a essa classe. Um limite de 99%, por exemplo, engloba 99% dos "pixels", dos quais 1% serão ignorados (os de menor probabilidade), compensando a possibilidade de alguns "pixels" terem sido introduzidos no treinamento por engano nessa classe, ou estarem no limite entre duas classes. Um limiar de 100% resultará em uma imagem classificada sem rejeição.

Para diminuir a confusão entre as classes, ou seja, reduzir a sobreposição entre as distribuições de probabilidades das classes, aconselha-se a aquisição de amostras significativas de alvos distintos e a avaliação da matriz de classificação das amostras.

A fim de obtermos uma classificação ideal, os valores apresentados na diagonal principal devem estar próximos a 100%, indicando que não houve confusão entre as classes definidas no treinamento, porém isso é uma situação difícil de se obter em virtude das características espectrais semelhantes de alguns alvos.

3.6. Síntese dos passos utilizados para a geração da imagem classificada

1. Criação de um arquivo de contexto – identificação de quais bandas farão parte da classificação e o método que será utilizado.
2. Execução do treinamento – identificação e coleta de amostras sobre a imagem, em que selecionamos os temas que serão classificados.
3. Análise das amostras – verificação da validade das amostras coletadas em relação ao percentual aceitável
4. Execução da classificação – implementação do algoritmo de classificação e geração de um plano de informação com os dados classificados.
5. Pós-classificação – processo de extração de pixels isolados e fora de contexto por meio de um limiar e um peso fornecido pelo usuário (passo não obrigatório).

6. Mapeamento – atribuição dos dados obtidos na imagem classificada a classes de informação temática conhecidas.

4. Metodologia

A metodologia seguida para a realização deste trabalho é bem fundamentada e aceita, sendo amplamente aplicada e gerando produtos com qualidade e confiabilidade (INOCENCIO, 1998).

O trabalho iniciou-se com a análise visual da imagem para a localização de pontos-chave. Esses locais constituem pontos de fácil identificação na imagem e na superfície terrestre, como por exemplo: bifurcações de rios, pontes, cruzamentos de rodovias, linhas férreas, feições geográficas bem delineadas e outras características de simples reconhecimento. Esses pontos, comumente chamados de pontos de controle, servirão para posicionar geograficamente a imagem e, por isso, devem estar bem distribuídos para que não ocorra nenhuma distorção significativa por excesso ou escassez de pontos em um determinado quadrante da imagem.

Com os pontos identificados e devidamente numerados, procedeu-se à parte inicial campo, ou seja, a coleta de coordenadas (latitude e longitude) utilizando-se um receptor GPS (Sistema de Posicionamento Global) de alta precisão. Neste trabalho, utilizamos um receptor GPS Topcon Legacy. Esse receptor consiste em dois aparelhos independentes que adquirem simultaneamente as coordenadas em um ponto de localização conhecida (preferencialmente um marco com coordenadas identificadas) e as coordenadas de campo de um ponto desejado. Pela leitura obtida na base, corrigem-se as coordenadas obtidas no ponto desejado, chegando-se a uma precisão adequada (na casa de centímetros) para a realização do trabalho.

Foto 1: Instalação do GPS para coleta de coordenadas

Essa precisão é definida pelas características espaciais da imagem a ser utilizada. No caso, como as imagens do Landsat possuem uma resolução espacial de 30 metros (tamanho do menor objeto que pode ser identificado visualmente – "pixel"), podemos trabalhar com escalas próximas a 1:50.000, e os pontos devem ser coletados com precisão para trabalhos nessa escala ou com qualidade melhor.

Dependendo da disponibilidade de equipamentos, pode-se fazer uso de um D-GPS (Sistemas de Posicionamento Global Diferencial), que consiste na utilização um par de GPS's de navegação, um fixo em um marco geodésico (preferencialmente) e o outro no local de coleta desejado. Ambos coletam as informações simultaneamente, que são processadas de acordo com o deslocamento diferencial entre as coordenadas reais da base e as coordenadas obtidas pelo GPS. Essa diferença é aplicada e corrigida no ponto de coleta, minimizando o deslocamento e aumentado a precisão, mas deve-se levar em conta a precisão necessária para a realização do trabalho.

Após a correção de todos os pontos, foi iniciado o processamento digital da imagem. A primeira parte desse procedimento é a inserção da imagem no sistema que irá realizar o processamento. Nesse caso, o sistema utilizado foi o SPRING 3.5.1 (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas – INPE), um *software* SIG (Sistema de Informações Geográficas) que realiza processamentos com imagens.

As imagens utilizadas, obtidas em 26/12/1996 pelo Landsat 5 e em 29/11/1999 pelo Landsat 7, destacam-se das demais pelas suas bandas

espectrais altamente especializadas para observação de fatores ambientais da superfície terrestre. O sensor TM, responsável pela geração das imagens, possui sete bandas espectrais, e três delas (as bandas 3, 4 e 5) especificamente desenvolvidas com a finalidade de detecção de categorias do uso do solo.

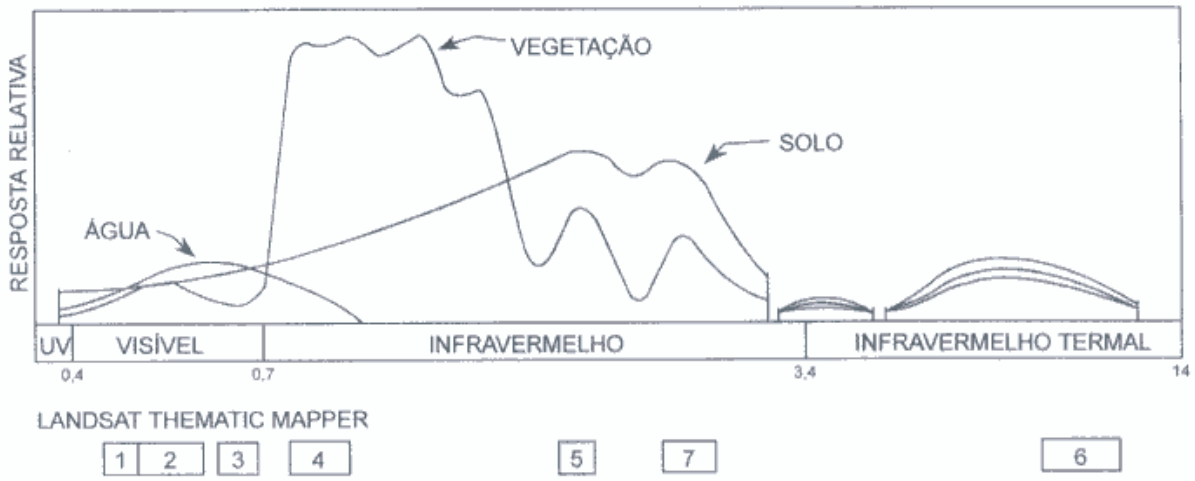


Figura 4: Resposta relativa das bandas do Satélite Landsat

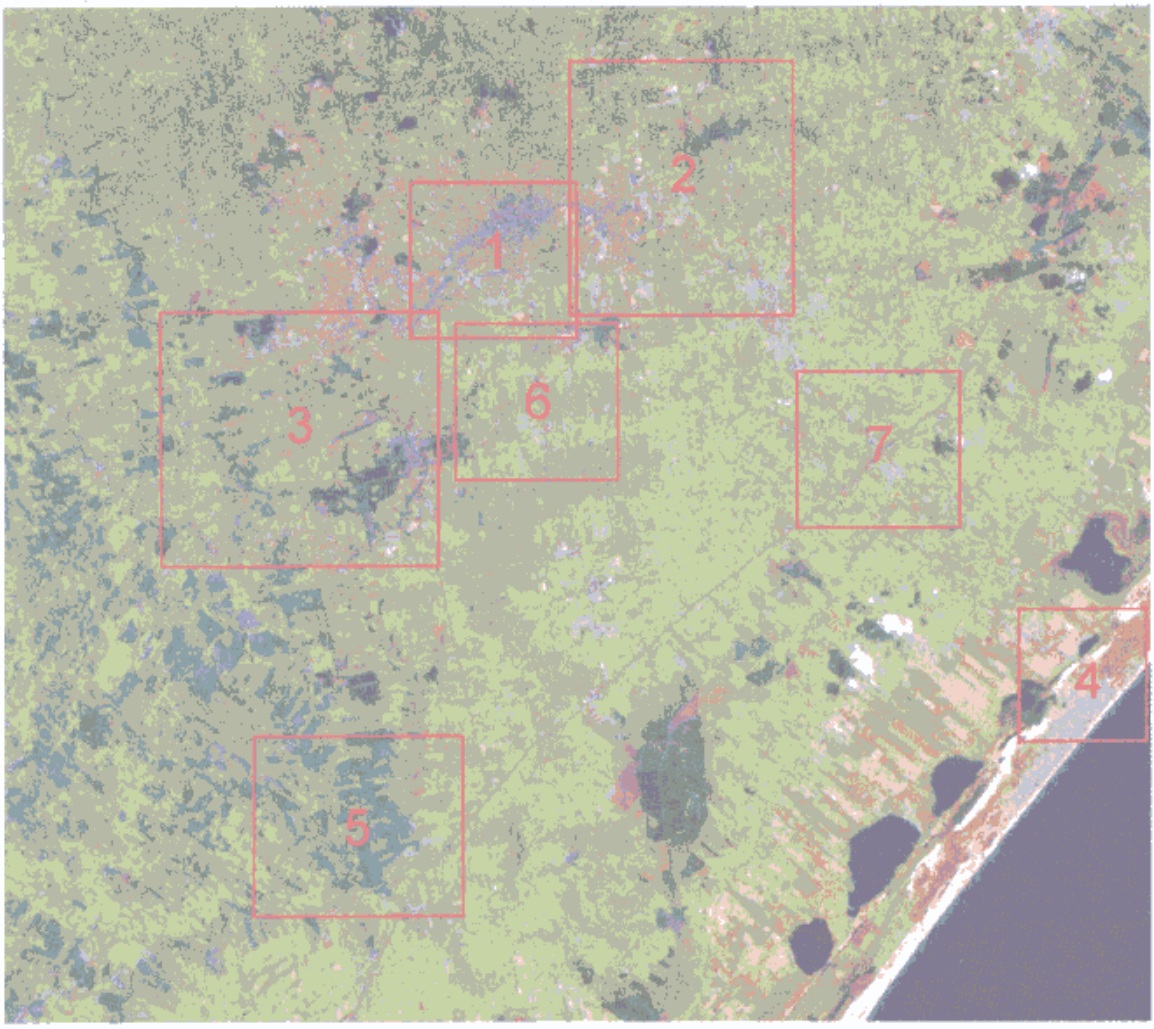
O primeiro processamento a ser realizado é o georeferenciamento da imagem. O georeferenciamento consiste na amarração das coordenadas dos pontos de controle obtidas em campo com seus respectivos correspondentes na imagem. A inserção da localização dos pontos de controle no sistema, associados aos mesmos locais definidos na imagem, permite que o sistema rotacione, translade e escale a imagem, fazendo com que todos os pontos da imagem tenham suas coordenadas reconhecidas. Nessa fase pode-se ter um erro total de até 0,5 "pixel".

Com a imagem georeferenciada, pode-se iniciar o desenvolvimento do filtro digital. O filtro digital é uma matriz de valores reais responsável pelo realce das informações que serão extraídas. Essa filtragem ocorre "pixel" a "pixel", reamostrando toda a imagem, alterando os tons de cinza que formam cada banda espectral.

Como última etapa, temos a classificação propriamente dita, onde foi utilizado Classificador Estatístico Supervisionado de Máxima Verossimilhança –MAXVER (JENSEN, 1996), que é o mais difundido e estudado entre todos os métodos de classificação de padrões de reflectância. Para essa classificação, inicialmente temos a fase de treinamento, na qual informamos para o sistema as áreas onde se encontram os temas a serem classificados. Retiram-se amostras de cada tema e verifica-se a matriz de confusão, que é a mistura das amostras; se o resultado for satisfatório, o sistema

realiza a classificação. A imagem gerada pela classificação é então transformada de matriz para vetores, quantificada e finalizada para a geração dos mapas.

O último passo é a edição final para a geração das cartas e a quantificação de áreas. Com essas áreas quantificadas, pode-se inferir sobre o desenvolvimento do uso do solo da área de estudo, suas variações e tendências, especialmente ao comparar informações obtidas em uma mesma área em épocas distintas.



Área 1 – Pontos 1, 5, 6 e 12
Área 2 – Pontos 7, 8, 13, 14 e 15
Área 3 – Pontos 2, 3, 9, 10 e 11
Área 4 – Ponto 16
Área 5 – Ponto 18
Área 6 – Ponto 4
Área 7 – Ponto 17

Figura 5: Identificação visual dos pontos de controle

Ponto	Local	Coordenadas	Tempo de Rastreio	Altura da Antena
Base	UNESC – Sat 91855	655443.414 6824172.973 Alt. 30.852 m	-	0,12 m
1	Av. Centenário X Ferrovia Teresa Cristina	656639.827 6824707.275	30 min.	1,4 m
2	Mãe Luzia	649089.555 6823845.698	30 min.	1,4 m
3	Pontilhão FTC X Residencial Lagoa Dourada	655940.647 6822031.242	30 min.	1,4 m
4	Trevo 28° GAC	659227.496 6822107.422	30 min.	1,4 m
5	Trevo São Luiz	659376.958 6825091.593	30 min.	1,4 m
6	Trevo SC-445 Siderópolis / Rio Maina	657688.581 6827273.557	30 min.	1,4 m
7	Trevo do Anel Viário – Mampituba	661915.719 6830121.593	30 min.	1,4 m
8	Curva do Anel Viário	664628.098 6829991.496	30 min.	1,4 m
9	Trevo Sangão	655216.842 6818837.841	30 min.	1,4 m
10	Trevo Rua Nereu Belolli X Rod. Gabriel Arns - Forquilhinha	651944.314 6818814.828	30 min.	1,4 m
11	Rod. Gabriel Arns X Av. 25 de Julho - Forquilhinha	649152.960 6818609.477	30 min.	1,4 m
12	Estádio Heriberto Hülse – Centro do Gramado	659527.326 6825938.468	30 min.	1,4 m
13	Av. Centenário – Bairro Nossa Senhora da Salete	662158.728 6825394.658	30 min.	1,4 m
14	Trevo SC-444 X Av. Centenário	663381.559 6825597.197	30 min.	1,4 m
15	Viaduto SC-444 X FTC – Içara	666428.853 6822797.210	30 min.	1,4 m
16	Plataforma de Pesca Entremares	674373.036 6809892.757	30 min.	1,4 m
17	Viaduto BR-101 X SC-444 - Vila Nova	668420.608 6818093.328	30 min.	1,4 m
18	Ponte Rio Sangão - Forquilhinha	652297.871 6810376.753	30 min.	1,4 m

Figura 6. Relatório dos pontos de controle coletados para georeferenciamento das imagens de satélite utilizadas neste trabalho

5. Resultados

O processamento digital de imagens do Satélite Landsat, realizado durante o estudo, permitiu a geração de dois mapas de uso do solo da área estudada, dos períodos de 1996 e 1999 (mapas 1 e 2).

Os mapas obtidos a partir da classificação de feições identificadas nas imagens trazem consigo a assinatura de cada classe de uso do solo definida. Assim, informações sobre a área ocupada pelas categorias de cobertura do solo estão vinculadas aos mapas, o que facilita a quantificação e análise das alterações sofridas por essas classes ao longo do tempo.

A análise das mudanças ocorridas no período de três anos – 1996 a 1999 – permite inferir sobre a dinâmica regional existente. A maior cultura presente na área de estudo, o arroz irrigado, cobre cerca de 25% a 30% da área total de estudo e concentra-se basicamente próximo às margens do Rio Mãe Luzia, de onde se retira a água para a irrigação da cultura.

As variações com relação às áreas degradadas e àquelas urbanizadas e/ou com solo exposto chamam a atenção. As áreas degradadas diminuíram em cerca de 38,82% em razão do recobrimento de depósito de rejeitos localizados no bairro Sangão. Assim esses locais passaram a constar, na imagem de 1999, como solo exposto e não mais como áreas degradadas, como identificado na imagem de 1996. As áreas urbanas e de solo exposto também diminuíram de 1996 para 1999, isso porque, até a data do imageamento de dezembro de 1996, algumas áreas de plantio de arroz estavam preparadas para a semeadura e, portanto, identificadas como solo exposto, fato que não ocorreu em 1999.

As outras alterações no uso do solo identificadas são consideradas normais devido ao processo de expansão urbana, que tem início com a retirada de áreas de mata nativa, formando capoeiras para posterior implantação de culturas ou urbanização.

Os erros obtidos nos processos de georeferenciamento e na classificação digital de padrões ficaram dentro dos limites estabelecidos para este tipo de trabalho. No georeferenciamento, os erros obtidos nas duas imagens não ultrapassaram o valor de 0,4 pixels, e o valor máximo aceitável é de 0,5 pixels. Já os percentuais obtidos nas matrizes de classificação ficaram acima de 90%, o que atribui uma grande confiabilidade aos dados gerados.

Quadro 3: Variação de áreas entre os períodos de 1996 e 1999

Classes	1996	%	1999	%	Variação	%
Mata Nativa	32,9976 km^2	24,44 %	23,4459 km^2	17,36 %	- 9,5517 km^2	-28,94 %
Capoeiras e Pastagens	25,6968 km^2	19,03 %	36,1665 km^2	26,79 %	+ 10,4697 km^2	+40,74 %
Culturas	30,8646 km^2	22,86 %	41,1912 km^2	30,52 %	+ 10,3266 km^2	+33,45 %
Áreas Degradadas	4,9140 km^2	3,64 %	3,0663 km^2	2,27 %	- 1,8477 km^2	-38,82 %
Áreas Urbanas e Solo Exposto	40,5270 km^2	30,03%	31,1301 km^2	23,06 %	- 9,3969 km^2	-23,18 %
Total	135,00 km^2	100 %	135,00 km^2	100 %	-	-

6. Conclusões

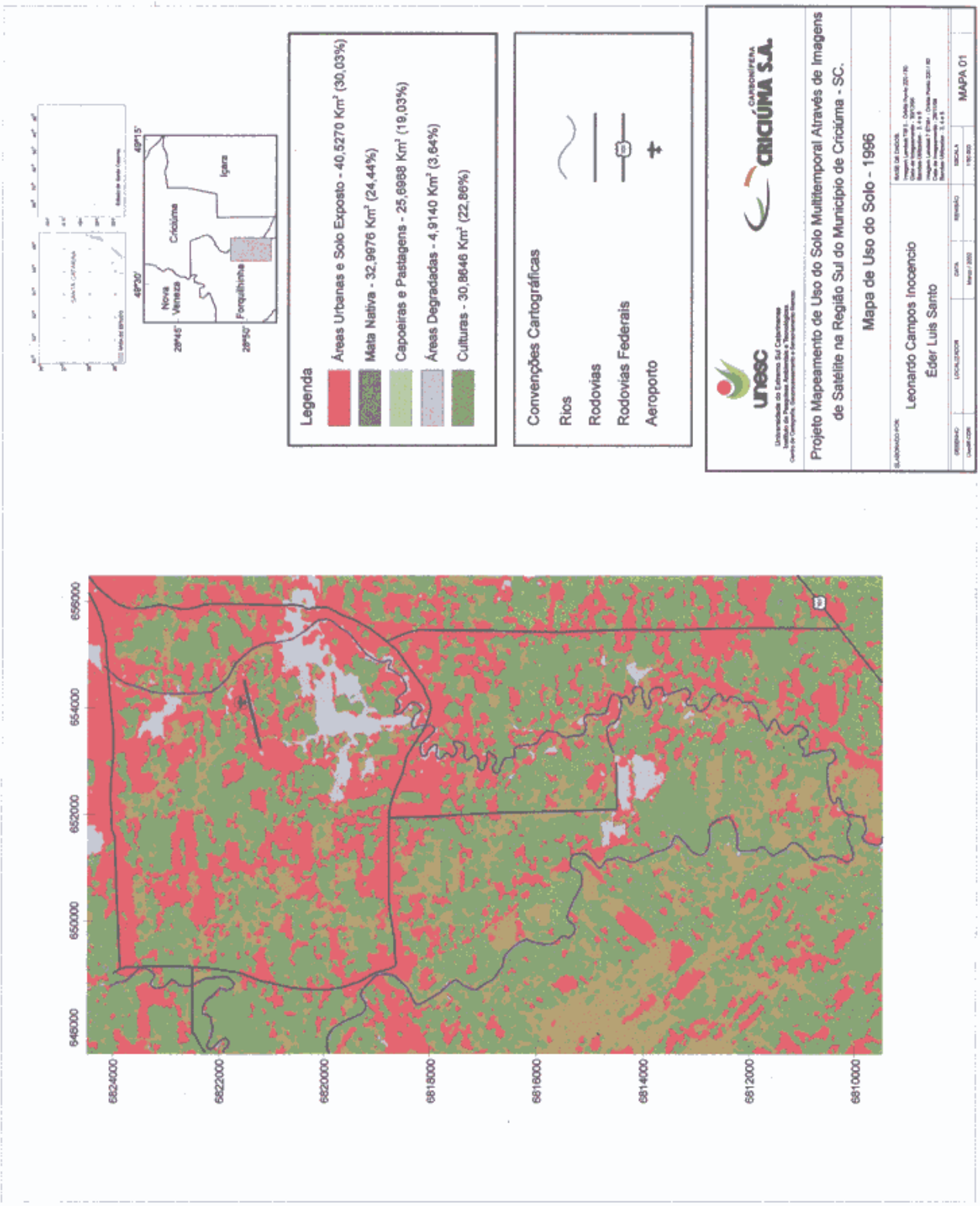
A utilização de ferramentas computacionais como o Sistema de informações Geográficas (SIG) e o Sensoriamento Remoto (SR) para a geração e análise de mapas temáticos possibilita a obtenção de dados precisos, com baixo custo e em curto espaço de tempo.

A metodologia utilizada no desenvolvimento do estudo pode também ser aplicada para suprir a necessidade de se obter e analisar dados históricos em escalas regionais, inclusive na bacia carbonífera catarinense, visto que os esforços realizados até o momento na região, apesar das excelentes intenções, se restringiram a locais isolados, não integrados com o entorno, e focados em um período específico.

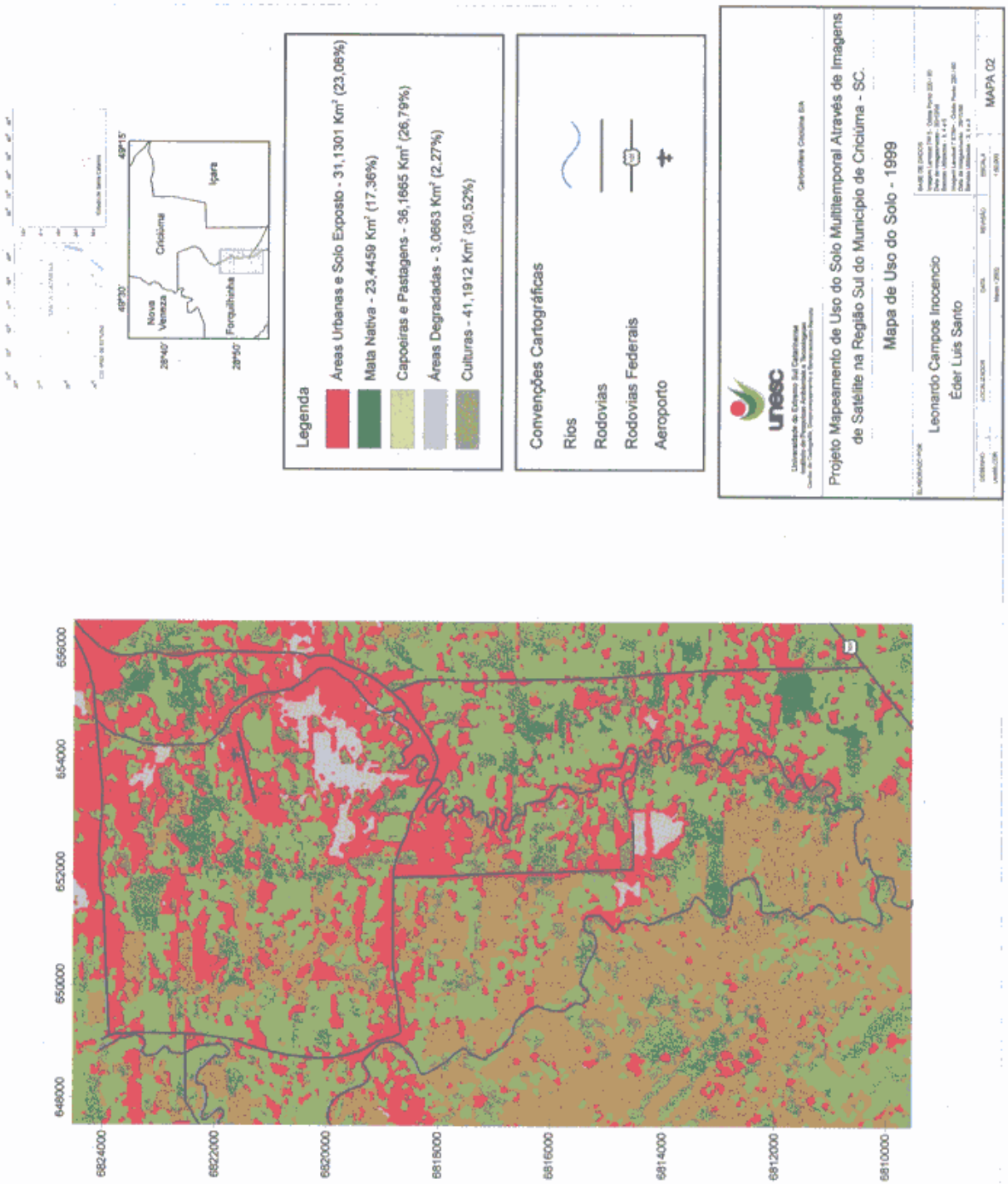
O que torna a utilização do binômio SIG-SR viável e extremamente atraente é o baixo custo do projeto, visto que, atualmente, uma imagem completa do satélite Landsat 7 custa em torno de R$ 950,00 e é entregue em aproximadamente 3 a 5 dias após a confirmação do pagamento. Os pontos de controle a serem utilizados para o georeferenciamento das imagens são coletados somente uma vez, o que diminui drasticamente o custo de futuros mapeamentos.

Uma das únicas limitações para o trabalho com imagens de satélite é a ocorrência de nuvens sobre a área desejada no dia e horário da passagem do satélite sobre o alvo, o que impossibilita o imageamento e transfere para 16 dias a próxima passagem do satélite.

BIBLIOTECA CENTRAL PROFESSOR BACK - UNESC



Mapa 1: Uso do solo – 1996



Mapa 2: Uso do solo – 1999

Referências bibliográficas

CÂMARA, G. *Geoprocessamento para projetos ambientais.* 2. ed. São José dos Campos: INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.

———; DAVIS, C. *Geoprocessamento: teoria e aplicações.* São José dos Campos: INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999.

INOCENCIO, L. C. et al. Processamento Digital de Imagens Orbitais e SIG no uso do solo do município de Itajaí - SC. In: II Seminário Integrado de Iniciação Científica. *Anais...* Blumenau, 1998.

JENSEN, J. R. *Introductory Digital Image Processing: a remote sensing perspective.* 2. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

———. *Remote Sensing of the Environment: an earth resource perspective.* New Jersey: Prentice Hall, 2000.

LOPES, E. S. S. *Curso de SPRING - 3.5.* São José dos Campos: INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1998.

NASA. Goddar Space Flight Center. Landsat Project. *The Landsat 7 user guide*, 1996.