

AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DE CONTRIBUIÇÃO PARA O RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA – SP

Evaluation of Land Use and Land Cover Dynamics in the Hydrographic Contribution Basin of Barra Bonita Reservoir –SP

Rachel Bardy Prado¹
Evlyn M. L. M. Novo²
Madalena Niero Pereira³

¹Embrapa Solos (CNPS)
Laboratório de Geoinformação - LGI
Rua Jardim Botânico, 1024, Jardim Botânico, CEP: 22460-000, Rio de Janeiro - RJ
rachel@cnpes.embrapa.br

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
Divisão de Sensoriamento Remoto - SERE
Caixa Postal 515, CEP:12201-970, São José dos Campos - SP
evlyn@ltd.inpe.br

³Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
Divisão de Sensoriamento Remoto - SERE
Caixa Postal 515, CEP:12201-970, São José dos Campos - SP
madalena@ltd.inpe.br

RESUMO

A interferência antrópica no ambiente ocorre de forma muito dinâmica e para acompanhá-la é preciso dispor de tecnologias eficientes, dentre as quais se destaca o sensoriamento remoto. Neste sentido, o presente estudo teve como propósito avaliar a dinâmica do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita com aproximadamente 19.164,43 km², situada no interior do Estado de São Paulo, mais especificamente, entre as coordenadas geográficas 21° 54' 20'' e 23° 57' 26'' Sul e 46° 39' 27'' e 48° 34' 52'' Oeste. Para tal foram utilizadas imagens dos sensores TM - Landsat 5 e ETM+ - Landsat7 referentes à 1990 e 2002, respectivamente. Estas imagens foram processadas utilizando o Spring 3.6 e aplicando uma classificação supervisionada. O classificador utilizado foi do tipo por regiões, sendo o método denominado *Bhattacharya Distance* com um limiar de aceitação de 90%. Desta forma foram obtidos os mapas de uso e cobertura da terra para 1990 e 2002, a partir dos quais foi possível calcular a área para 11 classes de uso e cobertura da terra e verificar as alterações ocorridas ao longo deste período. Utilizando o banco de dados SIDRA do IBGE foi possível obter dados de Produtividade Agrícola Municipal (PAM), de área plantada (em hectares), para culturas permanentes e temporárias da bacia em estudo, para os anos de 1990 a 2002. Os resultados desta fase foram importantes para confirmar as tendências observadas nos mapas de uso e cobertura da terra, obtidos em fase anterior. Neste trabalho foi possível identificar ainda locais próximos ao reservatório de Barra Bonita onde o uso inadequado da terra torna-se fonte de poluição difusa dos afluentes do reservatório de Barra Bonita. Estes locais foram georreferenciados em campo, fotografados e identificados no mosaico de imagens de 2002, fortalecendo a discussão dos resultados obtidos. Os resultados mostram que se trata de uma bacia bastante antropizada, onde medidas de planejamento devem ser tomadas no sentido de mitigar o processo de degradação ambiental.

Palavras-chave: Uso e cobertura da terra, sensoriamento remoto, reservatório Barra Bonita, bacia hidrográfica.

ABSTRACT

The human impact on the environment is dynamic making it necessary efficient monitoring technologies among which remote sensing outstands. In this paper we present a study carried out to assess land use and land cover dynamic in the Barra Bonita reservoir hydrographic catchment basin. This basin cover an area of approximately 19.164,43 km² located in São Paulo State at the coordinates of S 21° 54' 20'' ; S 23° 57' 26'' and W 46° 39' 27'' ;W 48° 34' 52''. TM and ETM+ Landsat images from 1990 and 2002 respectively were used to carry out a supervised classification on the Spring 3.6 image processing tools. The *Bhattacharya Distance* region classifier with a 90 % acceptance level was used to generate land use and land cover maps for 1990 and 2002. The maps were used to compute the area occupied by each of the 11 classes so as to assess land use changes during the period under study. The IBGE SIDRA data base was then used to gather information on the area of both temporary and permanent crops (in ha) for each municipality for 1990 and 2002. This data was useful to confirm the trends derived from the land use maps. The maps allowed also to identify areas near the Barra Bonita reservoir which are submitted to inadequate land use and acting as a non point source of pollution to the rivers feeding into it. Those places were georeferenced on the ground, photographed and located in the 2002 image mosaic to complement the discussion of the results. The results showed a highly impacted basin, where conservation planning actions are urgent so as to mitigate the present environmental degradation.

Keywords: Land use, land cover, remote sensing, Barra Bonita reservoir, basin.

1. INTRODUÇÃO

A avaliação da dinâmica do uso e cobertura da terra é de grande importância, na medida em que os efeitos do seu uso desordenado causam deterioração no ambiente. Os processos de desmatamento e erosão intensos e os assoreamentos e inundações desenfreados de reservatórios e cursos d'água são conseqüências do mau uso e ocupação da terra. Diante do exposto verifica-se que o levantamento do uso da terra, em uma determinada região, torna-se um aspecto fundamental para a compreensão dos padrões de organização do espaço e planejamento de políticas públicas. Entretanto, as medidas para o planejamento do uso da terra têm sido, até recentemente, baseadas em informações fragmentadas e desatualizadas sobre os efeitos do uso do solo no ambiente. Isto ocorria porque não existiam registros seguros sobre as condições de uso da terra, devido às dificuldades de acesso a determinadas regiões e custo elevado, não se podendo com isso avaliar as alterações provocadas pelo homem na paisagem natural.

Com o advento e evolução das tecnologias relacionadas ao Sensoriamento Remoto (SR) e Sistemas de Informação Geográfica (SIG), tornou-se mais viável em termos econômicos, de tempo de processamento e abrangência da área a ser mapeada, obter informações com um atributo geográfico, calcular áreas com maior facilidade, identificar processos de degradação ambiental intensos, e mapear o avanço de ocupação em áreas de preservação, além de melhorar a qualidade e visualização dos mapas e outros produtos passíveis de serem obtidos por meio de SR e SIG.

Neste sentido, o presente estudo se propõe a avaliar a dinâmica do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do entorno do reservatório de Barra Bonita, no Estado de São Paulo, no período compreendido entre 1990 a 2002.

2. ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita, adotada neste trabalho, é constituída por parte das bacias hidrográficas Piracicaba/Capivari/Jundiá (BHPCJ) e Tietê/Sorocaba (BHST), correspondendo a aproximadamente 19.164,43 km², inserida entre as coordenadas geográficas 21° 54' 20'' e 23° 57' 26'' Sul e 46° 39' 27'' e 48° 34' 52'' Oeste. A figura 1 mostra a localização da bacia no Estado de São Paulo e no Brasil, estando em UTM fuso 23 estendido, porque foi a projeção adotada no presente trabalho. Trata-se de uma das regiões mais populosas e desenvolvidas do interior do Estado de São Paulo, possuindo aproximadamente, cinco milhões de habitantes, representando 16% da população do mesmo Estado.

Os principais setores industriais da região são: eletroeletrônica, química, metalurgia, mecânica, agroindústria, alimentícia e têxtil. Na agricultura destaca-se o cultivo da cana-de-açúcar em maior escala e da laranja em menor escala, assim como a batata, hortaliças e reflorestamento.

Quanto às características naturais, o clima, segundo a classificação de Köpen, é do tipo CWA (clima mesotérmico), com inverno seco e verão quente. No tocante aos solos, predominam na bacia os Argissolos, Latossolos e Neossolos. As formações geológicas predominantes são Itararé, Pirambóia, Tatuí e Grupo São Roque. Nas proximidades do reservatório aparecem as formações Botucatu e Serra Geral. Quanto à geomorfologia, na maior parte de sua extensão apresenta um relevo pouco movimentado. Segundo WISNIEWSKI (1998), a vegetação natural foi substituída pela monocultura de cana-de-açúcar, quase que na sua totalidade. Os fragmentos de vegetação

remanescentes mais significativos referem-se às Unidades de Conservação.

3. INTERFERÊNCIA DO USO E COBERTURA DA TERRA NA QUALIDADE DA ÁGUA

O levantamento do uso da terra é de grande importância, na medida em que os efeitos do uso desordenado causam deterioração do ambiente. Os processos de erosão intensos, as inundações, os assoreamentos desenfreados dos lagos e reservatórios são conseqüências do mau uso da terra (SANTOS *et al.*, 1981). SPERLING (1998) salienta que a qualidade de uma água é resultante dos inúmeros processos que ocorrem na bacia de drenagem do corpo hídrico e que os organismos aquáticos, em sua atividade metabólica, não só recebem influência do meio, mas podem também provocar alterações físicas e químicas na água.

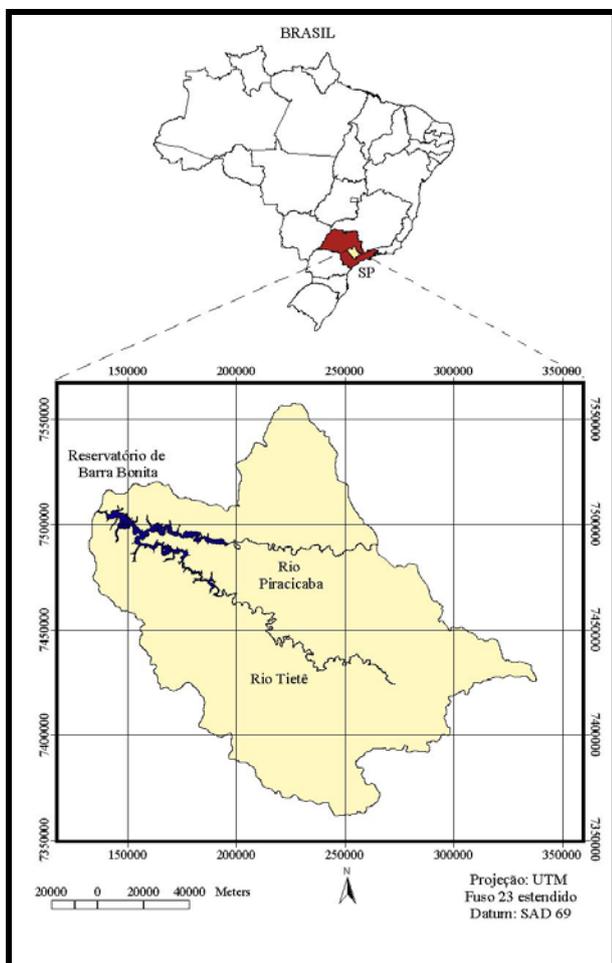


Fig.1 – Localização da bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita – SP.

Existem numerosos estudos que demonstram haver uma alta correlação entre a distribuição espacial das atividades humanas, o estado de conservação da cobertura vegetal na bacia hidrográfica e o nível de degradação dos recursos hídricos, como por exemplo, KIRA E SAZANAMI (1995).

A maioria das atividades antrópicas de uma bacia hidrográfica gera efluentes, os quais, se não dispostos em locais adequados ou tratados, acabam por atingir os cursos d'água, alterando as suas propriedades naturais (KIRA e SAZANAMI, 1995).

Barra Bonita é um reservatório antigo (41 anos) e está localizado numa região de intensas transformações nos padrões de uso e ocupação da terra, o que o torna suscetível a problemas de poluição e assoreamento acelerado. O aporte de nutrientes no reservatório é causado, em grande parte, pela entrada dos seus principais afluentes, o rio Tietê e o rio Piracicaba, que transportam descargas domésticas e industriais de grandes centros urbanos. As bacias destes rios são as mais industrializadas do Estado de São Paulo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Para este estudo foi definida a projeção UTM (*Universal Transverse Mercator*) e o Datum SAD69 (*South American Datum de 1969*). A base cartográfica utilizada no estudo foi a do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na escala 1:250.000 (Folhas: São Paulo, Campinas, Bauru e Itapetininga).

4.1 Aquisição das imagens de satélite de 1990 e 2002

Para abranger toda a área de estudo foram necessárias três cenas incompletas do sensor TM do satélite Landsat5 para 1990 e do sensor ETM+ do satélite Landsat7 para 2002, cujas principais características encontram-se na tabela 1. As imagens foram selecionadas a partir das cenas disponíveis na CDteca do INPE (cedidas sem custos) com 35% ou menos de coberta por nuvem. Como foram necessárias três cenas para recobrir a área de estudo, procurou-se selecionar ainda imagens de um mesmo período do ano, para cada ano estudado.

4.2 Seleção de bandas a serem utilizadas no processamento de imagens

Para cada banda foi feita uma análise dos valores médios de nível digital (ND) das principais classes de uso da terra e de seus desvios padrões. Como as classes foram melhor discriminadas espectralmente nas bandas 3, 4 e 5, apenas estas foram selecionadas para serem utilizadas nos passos subsequentes.

4.3 Correção atmosférica

Como as imagens utilizadas no presente estudo foram de épocas diferentes, foi necessário fazer a correção atmosférica para que se tornassem comparáveis. Alguns métodos de correção atmosférica foram testados como a utilização de ferramenta do software ENVI 3.4 (*calibration utilities*) e do software 6S (VERMOTE *et al.*, 1997). Porém, os resultados obtidos não foram satisfatórios. Este fato pode ser

atribuído à presença de nuvens nas imagens, o que altera os resultados. Sendo assim, optou-se pela utilização do método empírico (CHAVEZ, 1988 e 1996).

4.4 Registro e equalização de imagens

Para georreferenciar (registrar) cada imagem, aplicou-se uma transformação polinomial de primeiro grau, a qual resultou no erro aceitável de um *pixel*, (30x30m). Em seguida foi feita a equalização das diferentes cenas a partir do ajuste de histogramas no ENVI 3.4, tomando como referência o histograma da cena que estava mais nítida e sem cobertura de nuvens.

TABELA 1 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS UTILIZADAS NESTE ESTUDO.

Sensor	Órbita/Ponto	Data aquisição
TM	219/76	10/03/1990
TM	220/76	12/11/1990
TM	220/75	28/01/1990
ETM+	220/75	23/12/2002
ETM+	219/76	29/10/2002
ETM+	220/76	23/12/2002

4.5 Mosaico de imagens

A concatenação das três cenas (mosaico) foi feita também no ENVI 3.4, tanto para 1990 como para 2002. Posteriormente, foi feito o recorte para a bacia de estudo ainda no ENVI 3.4.. Estas imagens já mosaicadas foram exportadas para o Spring 3.6 visto que a segmentação neste *software* mostrou-se mais eficiente.

4.6 Aquisição de amostras de treinamento e teste para classificação digital do uso e cobertura da terra

De posse do mosaico das imagens, foi possível fazer a verificação de campo na área de estudo para a imagem de 2002. Foram georreferenciados, descritos e fotografados 98 pontos amostrais representativos das diferentes classes de uso e cobertura da bacia estudada.

4.7 Segmentação das imagens

Neste processo, anterior à fase de classificação, a imagem é dividida em regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação. Utilizou-se o método de crescimento por regiões implementado no Spring 3.6. Devido a dimensão das imagens e ao tempo de processamento foi feita uma reamostragem para pixels 60x60m, levando em consideração que a escala final dos mapas seria a de 1:250.000. Os limiares com melhor resultado foram de 10 e 20, respectivamente de similaridade e de área. Considerando que o tamanho do pixel é de 60x60m, a área da menor unidade mapeada foi de

aproximadamente 7,2 ha. Uma vez obtida a segmentação, passou-se à extração de regiões. Neste procedimento o algoritmo extrai as informações estatísticas de média e variância de cada região, considerando as bandas indicadas no arquivo de contexto.

4.8 Classificação das imagens

A classificação foi escolhida de acordo com sua habilidade em distinguir os alvos da área do presente estudo. Aplicou-se uma classificação supervisionada à imagem segmentada, utilizando-se 30% das amostras das classes identificadas em campo para o treinamento e 70% para o teste da classificação das imagens de 1990 e 2002, partindo-se do pressuposto que as principais classes de uso e cobertura não se modificaram ao longo destes 12 anos e que o comportamento espectral dos alvos também é o mesmo para ambos os anos. O classificador utilizado foi do tipo por regiões, sendo o método denominado *Bhattacharya Distance* e o limiar de aceitação de 90%.

4.9 Mapeamento

Após a classificação das imagens (1990 e 2002), passou-se ao mapeamento, gerando um mapa temático com as mesmas classes de uso da terra obtidas pela classificação, sendo 11 classes, a saber: área urbana, solo exposto, pastagem e campo, cana-de-açúcar, cultura temporária, cultura permanente, remanescente de vegetação natural, reflorestamento, macrófitas e nuvem e sombra.

Em seguida foi feita a edição matricial a partir da imagem original acoplada, respeitando os limites da segmentação. Porém, no caso das regiões onde as classes estavam muito fragmentadas e misturadas, havendo muita confusão, optou-se pela digitalização de fragmentos maiores, associando a eles a classe predominante. Este fato ocorreu principalmente para as classes: campo/pastagem, cana-de-açúcar, culturas perenes e anuais. Este procedimento é justificável levando em conta a escala de trabalho regional adotada. Desta forma, obtiveram-se os mapas de uso e cobertura da terra para 1990 e 2002.

4.10 Análise da dinâmica do uso e cobertura da terra

4.10.1 Utilização dos mapas de uso e cobertura da terra

Um cálculo de áreas das classes de uso e cobertura da terra para 1990 e 2002 foi realizado, utilizando ferramenta do Spring 3.6. Foi necessário também gerar uma máscara para a classe nuvem e sombra. Este procedimento evita que uma área coberta por nuvem ou sombra em um ano (portanto, não identificada), seja contabilizada no outro ano, interferindo nos resultados de comparação de áreas.

4.10.2 Utilização de dados censitários agrícolas

Utilizando o banco de dados SIDRA do IBGE, disponível na internet (IBGE, 2004), foi possível obter dados de Produção Agrícola Municipal (PAM), de área plantada (em hectares), para culturas permanentes e temporárias, de 1990 a 2002, buscando se fazer uma análise temporal, uma vez que o mapeamento de uso e cobertura da terra foi referente à 1990 e 2002 apenas. Nesta fase foram considerados os municípios com mais de 70% de sua área pertencente à bacia estudada, que no total foram 55 municípios, compondo a maior parte da mesma. Posteriormente, obteve-se o somatório de áreas de culturas permanentes e temporárias destes municípios, representando toda a bacia de estudo a fim de se verificar a dinâmica destas culturas de 1990 a 2002. Os resultados desta fase foram importantes para confirmar as tendências observadas nos mapas de uso e cobertura da terra.

Maior detalhamento da metodologia pode ser encontrado em PRADO, 2004.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da fase de pré-processamento das imagens de 1990 e 2002 obtiveram-se dois mosaicos, um para cada ano, utilizando uma composição colorida TM5(R), TM4(G) e TM3(B) para 1990 e ETM+5(R), ETM+4(G) e ETM+3(B) para 2002 (figuras 2 e 3, respectivamente). A metodologia de equalização das cenas para cada data, utilizando o *software* ENVI 3.4 foi bastante eficiente, visto que este procedimento suavizou as regiões de contato das cenas.

Mesmo antes da classificação foi possível perceber visualmente mudanças no uso e cobertura da terra entre 1990 e 2002. Observou-se ainda que algumas classes apresentaram respostas espectrais muito semelhantes, como por exemplo, a classe cana-de-açúcar (cultura em estágio adulto) e pastagem viçosa; áreas de várzeas, capoeiras e vegetação secundária; dentre outras. Em estudos mais detalhados, pode ser melhorada a discriminação das classes de uso. As marcas em preto são os locais visitados em campo, que auxiliaram na fase de treinamento para a classificação das imagens.

Após a classificação supervisionada obteve-se uma matriz de classificação cuja estatística de erros apresentou bons resultados tanto para 1990 como para 2002, como mostra a tabela 2, apesar de ter havido dificuldades na separação de algumas classes, que apresentam na região estudada, áreas muito pequenas e misturadas para escala de trabalho de 1:250.000.

TABELA 2 - ESTATÍSTICA DE ERROS DA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA.

	Imagem 1990	Imagem 2002
Desempenho geral	88,65%	90,65%
Confusão média	8,33%	5,61%
Abstenção média	3,03%	3,74%

A partir da classificação supervisionada e edição das imagens do Landsat 5 e 7, referentes à 1990 e 2002, respectivamente, foram obtidos os mapas de uso e cobertura da terra da área de estudo, para ambos os anos. As figuras 4 e 5 ilustram as modificações no uso e cobertura de 1990 para 2002 num trecho da área estudada. A área de cada classe para toda a região estudada em ambos os anos encontram-se apresentadas na tabela 3. Quanto à porcentagem de mudança, os valores positivos indicam expansão da área e os negativos indicam redução de área.

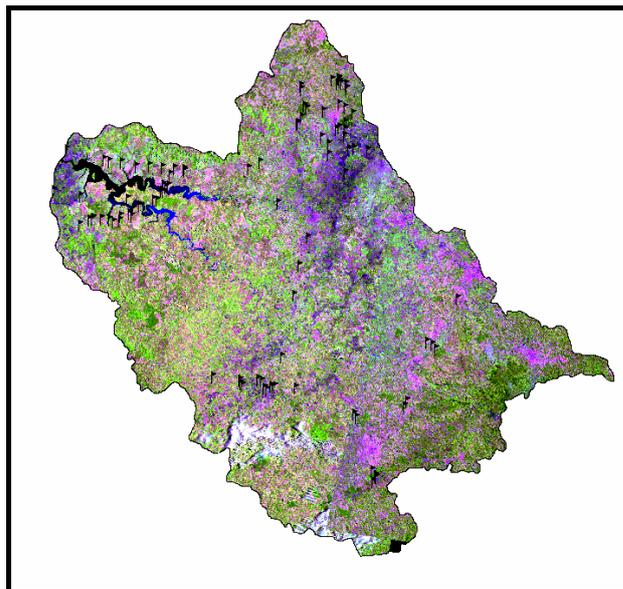


Fig. 2 - Mosaico obtido a partir das imagens Landsat5 de 1990 – Bacia Hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita – SP.

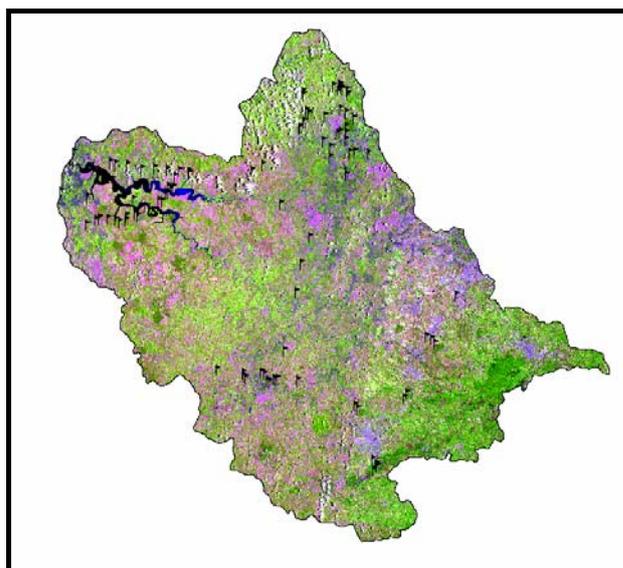


Fig. 3 - Mosaico obtido a partir das imagens Landsat7 de 2002 – Bacia Hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita – SP.

Como se observa, trata-se de uma bacia hidrográfica bastante antropizada, abrigando grandes

centros urbanos, com destaque para Campinas, Piracicaba, Sorocaba, Jundiaí, Americana, Indaiatuba, Limeira, Rio Claro, dentre outros. Verificou-se uma expansão da área urbana, de 1990 para 2002, de aproximadamente 29%, o que corresponde na maioria das vezes, a loteamentos implantados em áreas inadequadas, de forma não planejada e sem a infraestrutura necessária, trazendo problemas ambientais e de outras ordens. A urbanização também ocorreu devido ao processo de interiorização Paulista que ocorreu na década de 90. Segundo FELICIDADE *et al.* (2001), este processo baseou-se na utilização de múltiplas estratégias de atração da indústria e de modernização da agricultura, ambas requerendo uso intensivo dos recursos naturais.

TABELA 3 - ÁREAS DAS CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA PARA OS ANOS DE 1990 E 2002.

Classes	Área 1990 (km ²)	Área 2002 (km ²)	Mudança (km ²)	Mudança (%)
Área urbana	996,85	1.286,49	289,64	29,06
Solo exposto	2.486,46	1.804,96	-681,50	-27,41
Pastagem e campo	5.029,54	5.143,73	114,19	2,27
Cana-de-açúcar	4.370,78	4.917,72	546,94	12,51
Cultura temporária	858,51	878,80	20,29	2,36
Cultura permanente	267,85	247,65	-20,20	-7,54
Remanescente de vegetação natural	2.870,76	2.665,05	-205,71	-7,17
Reflorestamento	623,47	581,50	-41,97	-6,73
Macrófitas	32,27	19,23	-13,04	-40,41
Nuvem e sombra	1.290,12	1.290,12	0,00	0,00
Corpo de água	337,82	329,18	-8,64	-2,56
Total:	19.164,43	19.164,43		

Notou-se uma redução bastante significativa das áreas consideradas como a classe solo exposto, de 1990 para 2002 (figuras 4 e 5, identificador 1). Esta redução pode ser explicada pelo fato de nesta classe estarem agrupados solos permanentemente ou temporariamente expostos. Desta forma, solos expostos durante o plantio de culturas temporárias, com destaque para a cana-de-açúcar, provavelmente foram detectados pelo sensor do Landsat de forma muito semelhante a um solo permanentemente exposto.

Quanto à cana-de-açúcar, observou-se um aumento da área ocupada por esta classe de 1990 para 2002. Conforme IBGE (2004), realmente houve uma expansão da cana-de-açúcar neste período, tanto para o Estado de São Paulo como para a bacia estudada. A classe cana-de-açúcar, de acordo com a tabela 3, ocupa a segunda maior área da bacia, sendo menos expressiva apenas que a classe pastagem e campo, correspondendo também à maior área ocupada por culturas, sejam elas temporárias ou permanentes.

A classe de cultura temporária, abrangendo culturas com plantio, geralmente, em pequena escala, incluindo a cana-de-açúcar em pequenos lotes, mas não a cana-de-açúcar intensiva que foi considerada como uma classe à parte, apresentou um ligeiro aumento de

1990 para 2002. Mas, a área ocupada por esta classe fica ainda muito aquém da área ocupada pelo monocultivo da cana-de-açúcar. Em trabalho de verificação de campo, foi possível obter relatos dos pequenos agricultores segundo os quais nos últimos anos tem ocorrido a substituição das culturas temporárias pela cana-de-açúcar, sendo a última vendida para as usinas sem muita mão-de-obra e riscos de perda de safra.

No caso da classe cultura permanente houve um decréscimo na área em 2002 com relação a 1990. Observou-se em trabalho de campo que a cultura permanente que predomina na bacia estudada é a laranja, concentrada em determinados municípios. Conforme IBGE (2004), tanto o Estado de São Paulo como a bacia estudada, reduziram suas áreas de culturas permanentes em geral, assim como da cultura da laranja, especificamente, de 1990 para 2002.

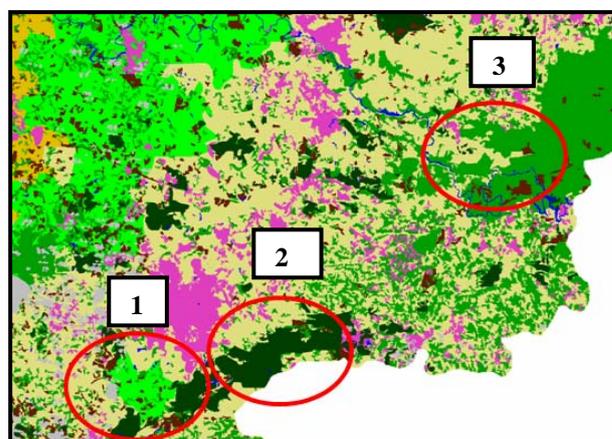


Fig. 4 – Trecho sul do mapa de uso e cobertura da terra de 1990.

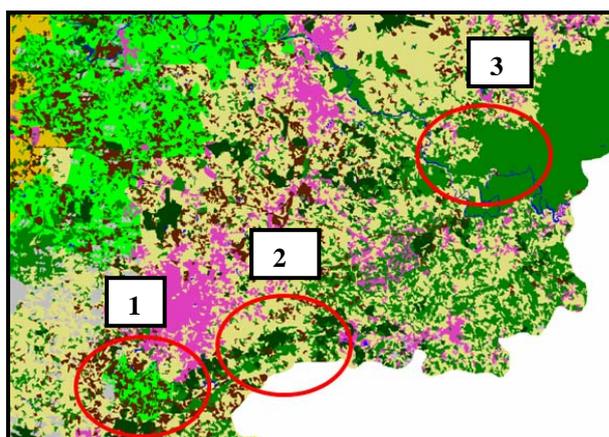


Fig. 5 – Trecho sul do mapa de uso e cobertura da terra de 2002.

A classe remanescente de vegetação natural apresentou uma redução de área no período estudado (figuras 4 e 5, identificador 3). Esta classe abrange desde fragmentos florestais ainda existentes na região, incluindo matas ciliares (em diversos estágios de sucessão), assim como vegetação de capoeira, cerrado, campo sujo, várzeas e parques vegetados em áreas

urbanas. Estas áreas vêm sendo reduzidas devido à ocupação para expansão de área urbana, pastagens, culturas e reflorestamento. Existem algumas unidades de conservação na área de estudo, contudo a fiscalização pelos órgãos competentes ainda é insuficiente, havendo muitas vezes corte seletivo para madeira.

Além disso, é importante ressaltar que em termos de vegetação natural, as áreas aqui apresentadas possivelmente encontram-se superestimadas, visto que as áreas de várzeas já não apresentam mais uma vegetação natural, bem como as matas ciliares, que muitas vezes são detectadas pelo sensor do Landsat, mas não parecem possuir largura e biodiversidade significativas.

A classe reflorestamento apresentou também pequena redução de 1990 para 2002, apesar de ter ocorrido um aumento em algumas regiões específicas como nos municípios Indaiatuba, Sorocaba, Votorantim, Alumínio, Alambari, dentre outros, estando relacionados, na maioria das vezes, a indústrias de papel e celulose (figuras 4 e 5, identificador 2). A visualização dos mapas de uso e cobertura da terra para toda a bacia estudada para 1990 e 2002, plotados em escala 1:500.000, é possível na versão eletrônica do presente trabalho na RBC.

A partir dos dados de área plantada (ha) para culturas temporárias e permanentes do PAM (Produção Agrícola Municipal), IBGE (2004), foi possível analisar a variação da área plantada destas culturas no período compreendido de 1990 a 2002 (tabela 4).

TABELA 4 – ÁREA PLANTADA DE CULTURA PERMANENTE E TEMPORÁRIA NO PERÍODO DE 1990 A 2002 NA BACIA HIDROGRÁFICA DE ESTUDO.

Ano	Cultura Temporária (ha)	Cultura Permanente (ha)
1990	338.108	37.196
1991	345.736	51.556
1992	331.648	52.045
1993	312.815	33.233
1994	325.042	33.716
1995	338.951	31.258
1996	306.114	28.567
1997	301.481	31.051
1998	300.551	30.930
1999	307.110	31.184
2000	285.789	26.279
2001	310.372	29.526
2002	305.041	31.947
Desvio padrão	19.315	8.106

Fonte de dados: IBGE, 2004.

Observa-se que as áreas com culturas temporárias são superiores às áreas com culturas permanentes, predominantemente devido à cana-de-açúcar, e que ambas apresentam uma tendência à redução, no período estudado, apesar dos resultados de área obtidos para a classe cultura temporária nos mapas de uso e cobertura da terra (tabela 3) mostrarem o contrário. Todavia, há de se considerar que os dados da tabela 4 são referentes aos municípios que possuem mais de 70% de sua área na bacia de estudo, ao passo que os dados obtidos por meio das imagens de satélite, referem-se à área total da bacia. Verifica-se ainda uma oscilação ao longo do tempo em ambos os tipos de cultura, apresentando desvios padrões de 19.315 e 8.106 para as culturas temporárias e permanentes, respectivamente (tabela 4). Observou-se um fato interessante relacionado às culturas permanentes. Em 1991 verificou-se uma elevação brusca na área plantada com relação ao ano anterior, se mantendo em 1992. Porém, em 1993 ocorreu uma queda também brusca, proporcional à elevação. Segundo IBGE, no ano de 1991 foi plantada uma área extensa de cultura de laranja no município de Indaiatuba, sendo um projeto da Empresa Votorantim Papel e Celulose. No entanto, esta cultura apresentou problemas, sendo abandonada posteriormente.

A dinâmica no uso e cobertura da terra observada na bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita, possui certamente relação com o processo de transporte e deposição de sedimentos e poluentes no mesmo corpo d'água, pois vai determinar a intensidade dos processos erosivos, da permeabilidade da bacia, da aplicação de defensivos agrícolas, da redução da vegetação natural, da conservação do solo e das margens dos rios e outros.

Para confirmar usos inadequados da terra, ressaltando o entorno do reservatório de Barra Bonita, foi possível identificar no trabalho de verificação terrestre, vários pontos de degradação ambiental, possíveis de serem identificados nas imagens Landsat. Pode-se citar locais de exploração de areia tanto às margens do reservatório de Barra Bonita quanto às margens de seus afluentes. Geralmente, esta atividade é realizada sem os devidos cuidados exigidos pela legislação, havendo destruição de vegetação ciliar, depósitos de areia em locais inadequados, sendo esta transportada nas estações chuvosas até o reservatório, provocando o seu assoreamento e comprometendo sua capacidade de armazenamento. Processos erosivos com início de formação de voçorocas, em áreas de pastagens degradadas, foram também observados, inclusive desmoronamentos às margens do reservatório. Como a pastagem é um dos principais usos da bacia, se essa não for bem manejada, haverá um grande potencial na exportação de sedimentos e nutrientes dos solos até os rios e desses para o reservatório de Barra Bonita. Para agravar a situação, grande parte das margens deste reservatório não possui matas ciliares. Outra classe de uso bastante observada no entorno do reservatório foi a

cana-de-açúcar. Sendo esta uma cultura temporária, o solo permanece exposto em épocas de preparo para o plantio, sendo este transportado rapidamente para o reservatório em situações de chuva.

6. CONCLUSÕES

As técnicas de processamento digital das imagens Landsat 5 e 7 se mostraram eficientes, obtendo-se uma matriz de erros da classificação bastante satisfatória. A fase de segmentação utilizando o *Bhattacharya Distance* permitiu a separação de regiões homogêneas, o que facilitou a classificação das imagens. Também a classificação supervisionada foi um método interessante uma vez que foi possível, neste estudo, se obter amostras significativas das classes de uso sujeitas à maior confusão no momento da classificação.

O cálculo de áreas para os anos de 1990 e 2002 possibilitou verificar que a classe de uso que teve maior expansão foi a área urbana, refletindo o aumento populacional e êxodo rural, traduzindo em fontes pontuais de poluição, principalmente dos recursos hídricos. Seguida da área urbana, a classe cana-de-açúcar foi a que apresentou maior expansão, refletindo em fontes difusas de poluição da água, desmatamentos, queimadas, dentre outros efeitos prejudiciais ao ambiente.

A utilização dos dados do PAM (IBGE, 2004) mostrou que entre 1990 e 2002, as transformações na ocupação de áreas para culturas anuais e perenes também foram intensas, onde áreas de culturas temporárias predominam com relação às áreas de culturas permanentes, na bacia em estudo. O trabalho de verificação terrestre comprovou a importância do conhecimento da área de estudo no momento da classificação das imagens, assim como permitiu identificar pontos específicos da área de estudo que podem estar gravemente contribuindo para uma maior degradação ambiental.

Sobretudo, percebeu-se alterações significativas com relação as classes de uso da terra em ambas as formas de análise, tanto por meio de imagens de satélite quanto a partir dos dados do PAM. Desta forma, percebe-se a importância do planejamento da ocupação das terras, bem como a adoção de técnicas de manejo adequado do solo e da água, da conservação dos pequenos remanescentes de vegetação natural existentes, da recuperação de matas ciliares e de políticas públicas que incentivem o gerenciamento ambiental em nível de bacias hidrográficas de forma a reduzir as fontes pontuais e difusas de poluição, assegurando melhor qualidade da água.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Processo número 00/102682-1,

pelo apoio financeiro e ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) e ao Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA) da USP - São Carlos, pelo apoio técnico e de infra-estrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHAVEZ JR., P. S. An Improved Dark-Object Subtraction Technique for Atmospheric Scattering Correction of Multispectral Data. **Remote Sensing of Environment**. 1988. v. 24, p. 459-479.

CHAVEZ JR., P. S. Image-Based Atmospheric Corrections Revisited and Improved. **Photogrammetric Engineering e Remote Sensing**, 1996. v. 62, n° 9, p.1.025-1.036.

FELICIDADE, N.; VARGAS, M. C.; MIRANDA, C. O. O processo de interiorização do desenvolvimento e suas implicações ao acesso e uso da água pelo cidadão: desafios econômicos, sociais e político-institucionais do caso paulista. In: FELICIDADE, N.; MARTINS, R. C.; LEME A. A. (org.). **Uso e Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil**. São Carlos: Editora RIMA. 2001. Cap.13, p. 224-236.

IBGE (2004). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de Recuperação Automática, Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam>> Acesso em: Julho de 2004.

KIRA, T. e SAZANAMI, H. Utilização de recursos hídricos e problemas de gerenciamento de lagos. In: HASHIMOTO, M. (ed.). **Diretrizes para o gerenciamento de lagos**. Japão. 1995. v. 2, p. 6.

PRADO, R. B. **Geotecnologias aplicadas à análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos**. São Carlos, SP, 2004, 172 p. Tese (Doutorado). Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2004.

SANTOS, A. P.; FORESTI, C.; NOVO, E. M. L.M.; NIERO, M.; LOMBARDO, M. A. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações no uso da terra**. São José dos Campos: INPE-2261-MD/016 – DSR/ANAMB. 1981. 61p.

SPERLING, E. V. Qualidade da água em atividades de mineração. In: DIAS, L. E. e MELLO, J. W. V. (eds.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 1998. p. 95-105.

VERMOTE, F.; TANRÉ, D.; DEUZÉ, J. L.; HERMA, M.; MORCRETE, J. Second simulation of the satellite

signal in the solar spectrum, 6S: an overview. **IEEE transactions on geoscience and remote sensing**, 1997. v.35, n. 3, p. 675-232.

WISNIEWSKI, M. J. S. **Distribuição espacial e produção secundária da comunidade zooplanctônica do reservatório de Barra Bonita – SP.** São Carlos, SP, 1998, 240 p. Tese (Doutorado) - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 1998.