

## **Análise multitemporal utilizando imagens CBERS-2 e LANDSAT-TM no entorno da Represa dos rios Jaguari e Jacaré, São Paulo**

Alessandra Rodrigues Gomes<sup>1</sup>  
Paulo Eduardo de Oliveira<sup>2</sup>  
Antônio Roberto Saad<sup>2</sup>  
Robson Cassalho Sanches<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista – Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente  
Avenida 24 A, 1515 – Bela Vista – Rio Claro / SP – CEP 13506-900  
agomes@rc.unesp.br

<sup>2</sup>Universidade de Guarulhos – Mestrado em Análise Geoambiental  
Rua Eng. Prestes Maia, 88 – Centro – Guarulhos / SP – CEP 07011-080  
paulo@bdj.com.br; asaad@prof.ung.br; biosanches@terra.com.br

**Abstract.** This work had as a main objective to evaluate, through techniques of remote sensing and geoprocessing, the land use change around the dam of the rivers Jaguari and Jacaré, east of the State of São Paulo, Brazil. Orbital images CBERS and LANDSAT of 1984 and 2006 for the analysis had been used, considering the following classes: native forest, forestry, human impact, urban area and water. The choice of these two dates is linked to the installation of the dam and the posterior urbanization of its margins and the duplication of the federal highway had contributed with the advance of the human activities. The results indicate increase of the native forest and Pinus/Eucalyptus plantations (forestry). The urban area also had a significant increase in 2006 possibly due to the duplication of the Fernão Dias Federal Highway. The results demonstrate an increase in the native vegetation confirming information of the increase of the forest covering in some regions of the state of São Paulo.

**Palavras-chave:** Geoprocessing, CBERS image, LANDSAT image, SPRING GIS, Jaguari/Jacaré Dam, Geoprocessamento, imagem CBERS, imagem LANDSAT, SIG SPRING, Represa Jaguari/Jacaré.

### **1. INTRODUÇÃO**

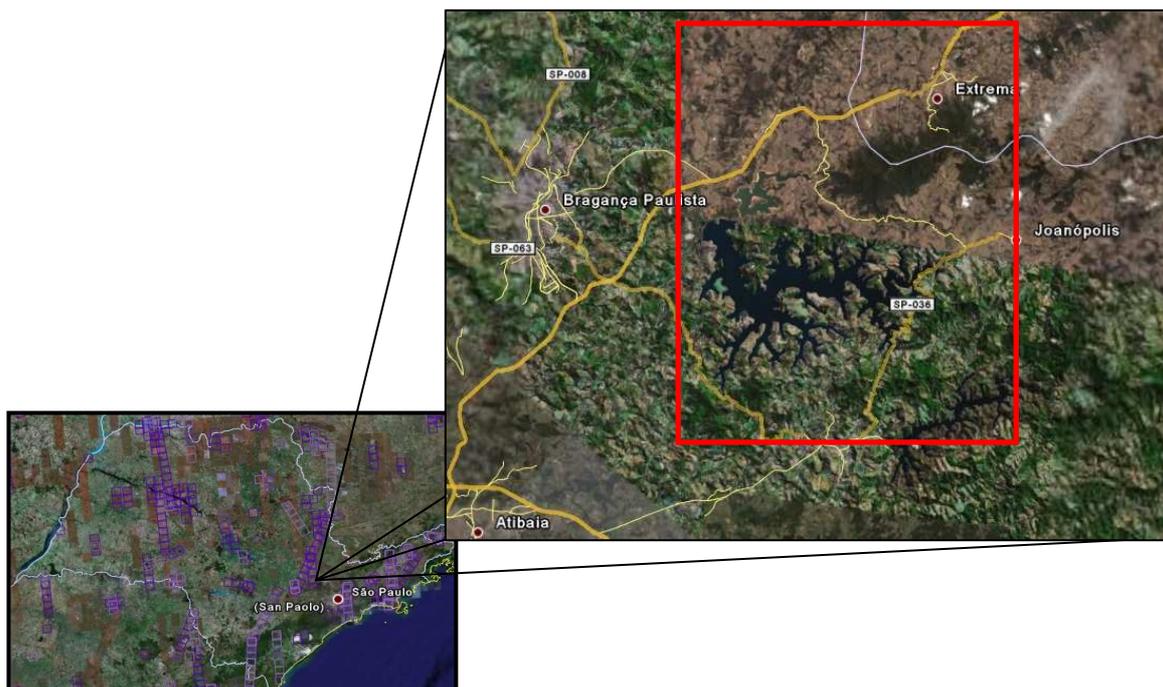
Um dos maiores problemas atualmente observados com relação à escassez de recursos naturais é a questão de fornecimento de água para os grandes centros urbanos. O Sistema Cantareira, por exemplo, é responsável pelo abastecimento de 8,8 milhões de pessoas na Região Metropolitana de São Paulo e só a bacia hidrográfica dos rios Jaguari e Jacaré é responsável por 45% da água produzida nesse sistema. No entanto, a qualidade da água desta bacia tem sofrido grande pressão nas últimas décadas devido à alteração no uso e ocupação do seu entorno, que já foi predominantemente rural na época de sua construção na década de 70 e agora atrai indústrias devido à duplicação da rodovia federal Fernão Dias.

Percebe-se, porém, que o monitoramento constante dessa área se torna imprescindível para a preservação e manejo. Uma das mais modernas ferramentas utilizadas para isso são os produtos de sensoriamento remoto, que permitem uma análise quantitativa das alterações na paisagem como consequência dos padrões de uso e ocupação do solo. Aliadas a isso, as técnicas de geoprocessamento e de processamento digital de imagens permitem a avaliação das alterações ambientais.

Considerando as questões apresentadas, este trabalho procura fazer uma análise multitemporal no entorno das margens da represa dos rios Jaguari e Jacaré através de técnicas de processamento digital de imagens LANDSAT/TM e CBERS/2 de 1984/1985 e 2006, respectivamente.

## 2. Área de Estudo

A área de estudo, localizada na região leste do Estado de São Paulo e em parte do Sul de Minas Gerais, possui cerca de 50 mil hectares inseridos entre as latitudes  $22^{\circ} 49' 27.47''\text{S}$  e  $23^{\circ} 03' 19.10''\text{S}$  e longitudes  $46^{\circ} 15' 53.17''\text{W}$  e  $46^{\circ} 28' 0.60''\text{W}$ . No entorno da Represa Jaguari/Jacareí encontram-se os municípios Extrema (MG), além de Vargem, Joanópolis, Piracaia e Bragança Paulista, no Estado de São Paulo, como mostra a Figura 1.



**Figura 1** - Localização da área de estudo no detalhe da imagem à direita.

Fonte: Google Earth ® (2007)

A área estudada está inserida em uma pequena seção dentro da Província Mantiqueira-Sector Central (Hasui & Oliveira, 2001), constituída por várias unidades litológicas e litoestratigráficas e uma delas, conhecidas como depósitos aluviais recentes, se encontra ao longo das drenagens atuais, como por exemplo, dos rios Jaguari e Jacareí (Bistrichi, 2001). Geomorfologicamente, a área de estudo está inserida no Planalto Atlântico, representado por relevo bastante movimentado. Observam-se também relevos convexos e suavizados, na forma de morrotes e colinas, instalados sobre rochas pré-cambrianas e cenozóicas. E, segundo o Projeto RADAMBRASIL (1983), a área se encontra no domínio da Floresta Ombrófila Densa em associação com Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Semidecídua e pequenas áreas de cerrado.

A devastação dos diferentes ecossistemas na região estudada teve início com o ciclo econômico do café e a região foi palco de grande desenvolvimento, sustentado pelas vendas ao exterior dessa matéria-prima. Depois do declínio do ciclo do café, em 1929 (Kugelmas, 1981), algumas áreas de cultivo foram destinadas a outros tipos de cultura como a batata, especialmente na década de 60. Outras foram reflorestadas com espécies exóticas dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* ou também substituídas por pastagens e grande parte da região foi transformada em pastos, capoeiras e, eventualmente, em matas secundárias.

### 3. Materiais e Métodos

Para este trabalho utilizou-se imagens Landsat e CBERS, cujas características são apresentadas na Tabela 1. A escolha se baseou nas datas, procurando a mais recente à instalação da represa Jaguari/Jacareí e de acordo com a menor porcentagem de cobertura de nuvens.

Tabela 1. Características das imagens Landsat/TM5 e CBERS-2.

Imagem	Órbita/ Ponto	Bandas	Resolução (Metros)	Data	Fonte
Landsat/TM5	219/76	3, 4, 5	25	01/09/84	NASA ( <a href="http://zulu.ssc.nasa.gov">http://zulu.ssc.nasa.gov</a> )
Landsat/TM5	219/76	3, 4, 5	30	12/03/85	INPE ( <a href="http://dpi.inpe.br/cdteca">http://dpi.inpe.br/cdteca</a> )
CBERS-2 / CCD	154/126	2, 3, 4	20	15/09/06	INPE ( <a href="http://dsr.inpe.br/cbers">http://dsr.inpe.br/cbers</a> )

Para o processamento, integração e geração dos mapas temáticos foi utilizado o SIG SPRING (Câmara et al., 1986), na versão 4.2. As etapas de trabalho estão apresentadas na Figura 2.

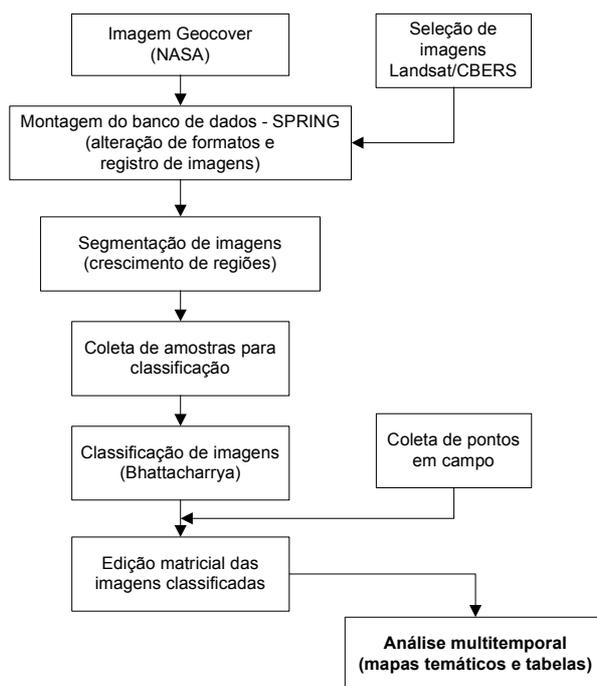


Figura 2. Etapas desenvolvidas neste trabalho.

Ao adquirir uma **imagem Geocover** (NASA, 2008), pretendeu-se que ela servisse como base, pois possui projeção cartográfica (UTM) e *datum* (WGS 84) definidos, o que permitiria adotá-la para o registro das outras imagens. Com isso, a **montagem do banco de dados** incluiu a alteração dos formatos da imagem Landsat/TM e CBERS-2 e o registro das mesmas.

Em uma primeira etapa, as imagens Landsat/TM5 e CBERS-2/CCD-2 foram transformadas para o formato GRB e registradas com um total de 10 pontos, não ultrapassando um erro médio de 14,15 metros, aceitável segundo INPE (2006) e aplicado o interpolador vizinho-mais-próximo.

Com o banco de dados montado foi possível iniciar a fase de processamentos digitais. Na **segmentação**, após testes, foi adotado um limiar de similaridade igual a 10 e área de pixel

igual a 10. Mais detalhes sobre o processo de segmentação por crescimento de regiões do SPRING podem ser encontrados em INPE (2006).

Foram identificadas e mapeadas 5 classes temáticas (*vegetação nativa, silvicultura, impacto antrópico, área urbana e água*), com base em critérios de fotointerpretação (Pereira et al., 1989) e de comportamento espectral de alvos (Meneses & Madeira Netto, 2001). A Tabela 2 apresenta os principais critérios utilizados para identificar e separar cada uma das classes definidas para este estudo, na composição 4R5G3B, considerada a melhor composição para distinção de alvos (Lillesand & Kiefer, 1994; Schowengerdt, 1997).

Tabela 2. Critérios utilizados para distinguir as classes temáticas.

Classes	Tonalidade	Textura	Forma	Contexto
<b>Vegetação</b>	baixa	Rugosa	irregular	Situada em áreas de relevo mais acentuado ou isoladamente, indicando a presença de vegetação primária, nativa ou ainda pouco alterada.
<b>Silvicultura</b>	baixa a média	Lisa	regular e irregular	Regiões de cultivo de <i>Pinus</i> e eucalipto ao longo da área.
<b>Impacto antrópico</b>	média a alta	Lisa a rugosa	regular e irregular	Consideradas as áreas de agricultura e /ou pastagem, de fácil acesso, encontradas em extensas regiões bem distribuídas ora com feições definidas, ora com feições irregulares ou ainda áreas abandonadas, apresentando regeneração florestal, solo exposto ou qualquer outra feição que não tenha se encaixado nas demais classes.
<b>Área urbana</b>	média a alta	Rugosa	irregular	Área com evidência de ocupação humana sob a forma de aglomerados, vilarejos, cidades.
<b>Água</b>	baixa	Lisa	irregular	Corpos d'água existentes: represas, lagos e lagoas.

A **coleta de amostras** resultou em um total de 137 amostras, sendo 70 para a classe impacto antrópico; 25 para a classe *silvicultura*; 24 para a classe *vegetação nativa* e 18 para a classe água. classe *área urbana* foi delimitada manualmente, baseada na localização das cidades e seguindo os padrões de fotointerpretação. As imagens Landsat/TM5 e CBERS/2, com a localização das amostras pode ser observada na Figura 3, que apresenta a imagem Landsat/TM5 na composição 4R5G3B e a imagem CBERS-2 com composição 4R2G3B.

As amostras serviram para o processo de **classificação pelo método de Bhattacharrya**, supervisionado e adotado após testes com outros classificadores. Esta classificação trabalha com a distância de *Bhattacharrya* que mede a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais. Esta separabilidade é calculada através da distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais (INPE, 2006).

Após a classificação, então, foi realizada a **edição matricial** nas imagens classificadas com a principal função de corrigir erros inerentes ao processamento automático. Os erros e dúvidas foram sanados com **visitas à área de estudo** e coleta de cerca de 45 pontos por GPS. A etapa de edição também serviu para interpretar as áreas cobertas por nuvens em 1984 e então foi utilizada a imagem de 1985.

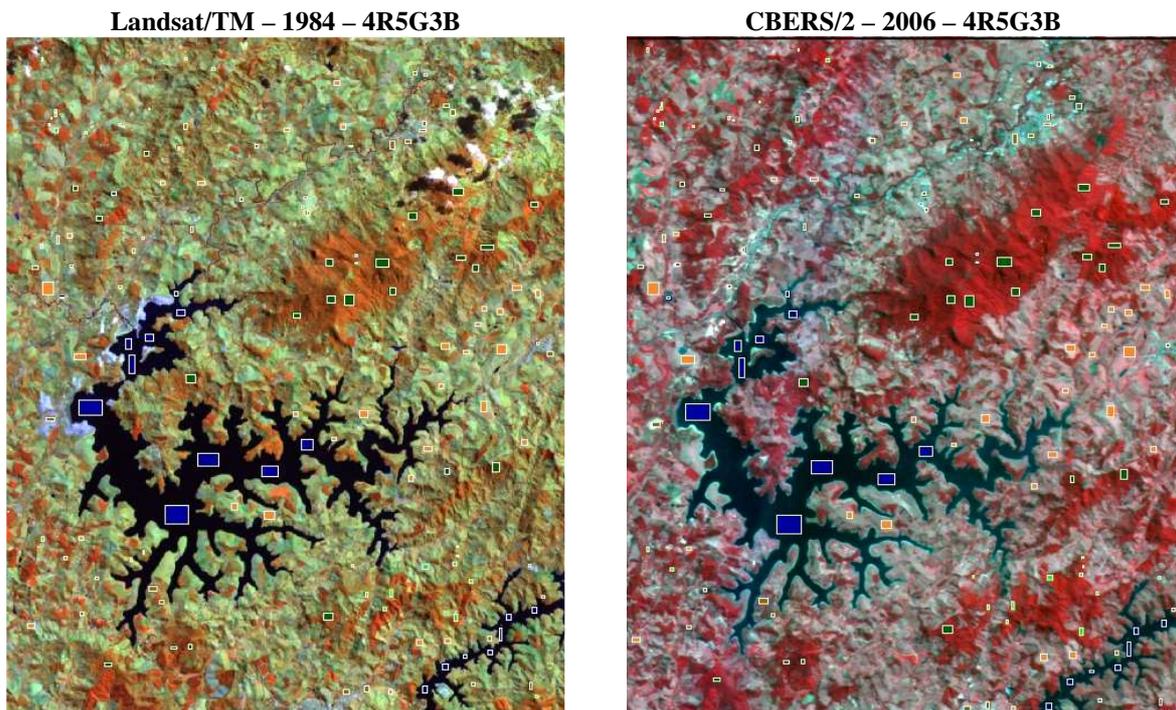


Figura 3. Localização das amostras nas imagens Landsat/TM e CBERS/2.

#### 4. Resultados e Discussão

Um dos resultados dos processamentos, necessários para a análise multitemporal, se refere às duas imagens classificadas e editadas, apresentadas na Figura 4.

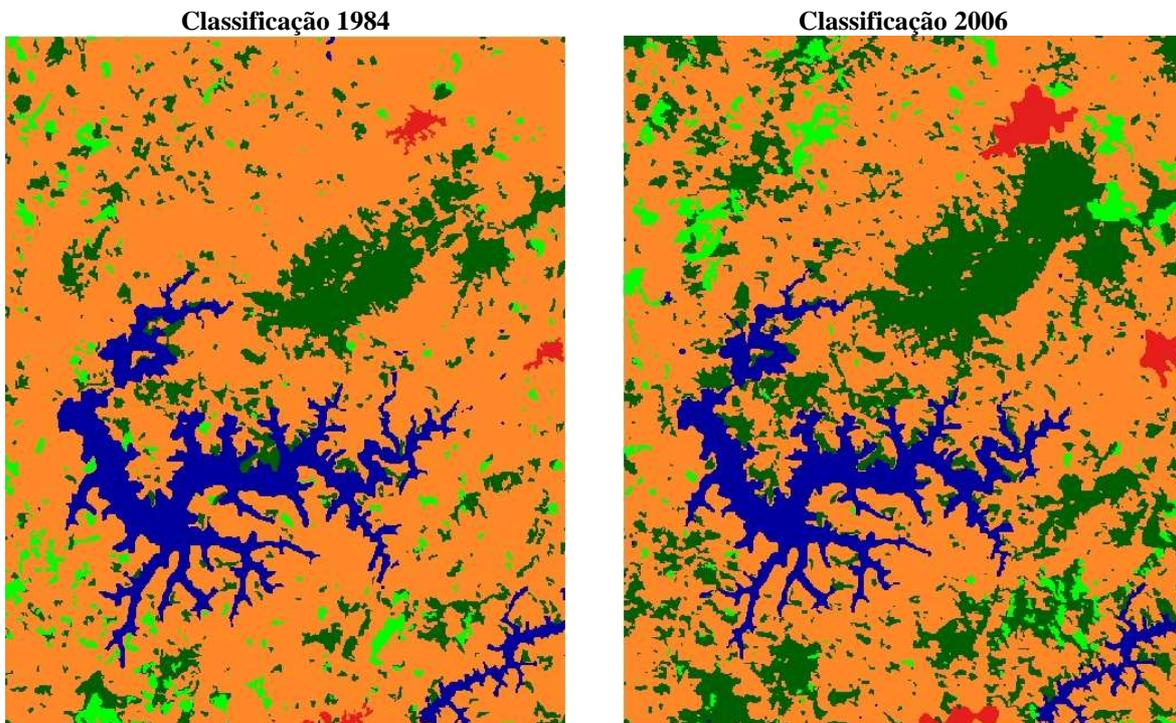


Figura 4. Resultado das classificações e edições das imagens de 1984/1985 e 2006 .

O resultado da classificação de 1984/1985 mostra que o entorno da represa era caracterizado pelo predomínio da classe impacto antrópico, com intensa ocupação em forma de loteamentos e áreas agrícolas. Em alguns pontos, observa-se a presença de floresta nativa em fragmentos pequenos, com exceção do Complexo Serra das Flores e Serra do Lopo, a nordeste da área. A classe água é observada na Represa Jaguari/Jacareí e áreas de silvicultura aparecem em pequenos polígonos espalhados na imagem.

Já no resultado da classificação de 2006, o complexo Serra das Flores e Serra do Lopo ainda se mantêm como o maior núcleo de floresta na área estudada. Em termos de vegetação nativa, nota-se que vários fragmentos pequenos agora ocupam áreas nas margens da Represa Jaguari/Jacareí que antes eram ocupados pela classe impacto antrópico. As áreas de silvicultura aumentam em 2006, principalmente ao norte do município de Piracaia e da Represa de Nazaré Paulista. As áreas de impacto antrópico diminuíram, enquanto a água parece ainda é evidenciada, basicamente, pela Represa Jaguari/Jacareí. As áreas urbanas também aumentaram, o que era esperado após 22 anos.

A área de cada classe mapeada nas duas datas analisadas permitiu a construção da Tabela 3, que descreve, como apresentado em Marçal et al. (2001), os cálculos de áreas e porcentagem de classes que permite observar a dinâmica após 22 anos.

Tabela 3. Distribuição proporcional das áreas mapeadas.

CLASSES	Ano 1984/1985		Ano 2006	
	hectares	%	hectares	%
Floresta	6068.25	12.12	11746.12	23.46
Silvicultura	1643.69	3.28	1855.12	3.70
Impacto antrópico	37334.37	74.57	31315.62	62.55
Área urbana	270.19	0.54	720.87	1.44
Água	4746.00	9,48	4424.75	8.84
<b>TOTAL</b>	<b>50062.50</b>	<b>99,99</b>	<b>50062.50</b>	<b>99,99</b>

A análise dos mapas de 1984 e 2006 mostra que dentre as classes analisadas, floresta, silvicultura e área urbana tiveram aumento na região estudada. A classe impacto antrópico, que inclui atividades como pastagens, práticas agrícolas e outras atividades econômicas, mostrou uma redução de 16,12% em sua área. Da mesma forma, áreas ocupadas por água tiveram uma redução de 6,77% em sua área de abrangência. Segundo o IF (2005), a devastação da cobertura vegetal entre os anos de 1990 e 1992 foi de 3.330.740 hectares e nos anos 2000 e 2001 ocorreu um aumento da vegetação nativa, pela primeira vez, também confirmado por Ehlers (2007). Segundo este autor este aumento é explicado devido à fiscalização mais rigorosa e à retração das atividades agropecuárias, que permite a regeneração natural das matas.

O aumento de floresta nas proximidades da região estudada é confirmado pela EMPRAPA (2006), que aponta um aumento significativo da floresta ripária nos municípios de Amparo, Socorro e Serra Negra, ao norte da área de estudo. Outra hipótese para o aumento da classe floresta em 2006 quando comparada com 1984/1985 tem a ver com as características fenológicas da vegetação, que responde às variações sazonais Gomes e Ponzoni (2005).

O aumento da classe silvicultura pode estar relacionado aos replantios e/ou abertura de novas áreas destinadas ao cultivo de *Pinus* e *Eucaliptus* na região. Em 22 anos, acredita-se que no mínimo dois replantios puderam ser realizados, transformando áreas de agropecuária

ou solo exposto (classe outros) em 1984 para novas áreas destinadas à silvicultura, observadas em 2006. A diminuição de área de impacto antrópico pode estar relacionada ao aumento das áreas urbanas, expansão das áreas de silvicultura e floresta. Esta diminuição não pode servir, no entanto, para afirmar que a área de agricultura efetivamente diminuiu. Nestas regiões a existência de propriedades de pequeno e médio porte é notável e as características econômicas resultantes desta atividade podem justificar um aumento em determinadas regiões. Em áreas como o entorno da Rodovia Fernão Dias, por exemplo, a classe impacto antrópico apresentou considerado aumento o que pode estar diretamente relacionado à duplicação da Rodovia.

A classe água provavelmente sofreu diminuição em área devido ao secamento e/ou eutrofização das pequenas lagoas mapeadas em 1984/1985, que não foram observadas e mapeadas em 2006. Além disso, ao redor da Represa de Jaguari/Jacareí também foi observada a existência de uma faixa de areia, indicando uma redução na quantidade de água possivelmente relacionada a uma maior estiagem no ano de 2006, o que torna coerente a efetiva diminuição na área desta classe.

As imagens orbitais foram imprescindíveis para os resultados encontrados e, apesar da diferença de resolução espacial entre elas, os resultados foram coerentes e a área total exatamente a mesma..

## 5. Conclusões

As alterações após 22 anos ocorreram em todas as classes analisadas. Predomina na região as classes impacto antrópico que, no entanto, demonstrou uma diminuição significativa atribuída, principalmente, ao aumento das outras classes, como floresta e silvicultura. A classe floresta apresentou aumento relacionado ora pelas características fenológicas da vegetação, ora pela legislação que permitiu uma maior preservação ou ainda devido ao processo natural de regeneração da vegetação.

As áreas de silvicultura tiveram aumento que se relaciona às mudanças observadas no comportamento dos pequenos produtores agrícolas que predominam na região e a área urbana, com um aumento significativo esperado, explicado pela alta expansão na ocupação verificada na região após a finalização da duplicação da rodovia federal Fernão Dias. De uma forma geral, a paisagem da região apresentou variação esperada e até quando se comportou de maneira inesperada, como foi o caso da floresta, algumas explicações puderam justificar seu comportamento.

A utilização das imagens Landsat/TM e CBERS/2 e as técnicas de geoprocessamento se tornaram imprescindíveis para análises multitemporal realizada neste trabalho. O trabalho de edição matricial exigiu experiência e conhecimento da área, minimizados com trabalhos de campo. No entanto, o tempo gasto para esta técnica pode ser inviável em extensas áreas e uma alternativa seria diminuir a escala de mapeamento ou a aplicação de técnicas mais automáticas.

A facilidade de aquisição de imagens permite que os materiais utilizados para este trabalho possam ser utilizados para qualquer outra área, auxiliando no planejamento de ações futuras de locais importantes para a população, como é o caso região de entorno da Represa Jaguari/Jacareí.

## Referências Bibliográficas

Bistrichi, C.A. Análise estratigráfica e geomorfológica do cenozóico da Região de Atibaia-Bragança Paulista, Estado de São Paulo. 2001. 184 p. **Tese (Doutorado em Geociências)** – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

Câmara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M. Garrido, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

Ehlers, E. Empreendedorismo e conservação ambiental no interior de São Paulo. **Revista de Economia e Sociologia Rural** 45: 185-203. Rio de Janeiro. 2007

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Uso e Cobertura das Terras na Região Nordeste do Estado de São Paulo. 2006. Disponível em: <<http://www.nordestesp.cnpem.br/conteudo/usoCobertura.htm>>. Acessado em 15 de fevereiro de 2006.

Gomes, A.R.; Ponzoni, F.J. Utilização de dados multitemporais para o projeto Atlas de Remanescentes Florestais de Mata Atlântica como subsídio ao mapeamento de florestas estacionais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12, 2005, Goiânia. **Anais**. São José dos Campos, INPE. CD-ROM, p. 1549-1554.

**Google Earth** ®. Localização da área de estudo, 2007.

Hasui, Y.; Oliveira, M.A. Província Mantiqueira: Setor Central. In: Bistrichi, C. A. **Análise estratigráfica e geomorfológica do cenozóico da região de Atibaia-Bragança Paulista**, Estado de São Paulo. Rio Claro:[s.n.], 184 p., 2001.

INPE. SPRING: **Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas**. Tutorial, 2006.

IF - INSTITUTO FLORESTAL - 2005. **Inventário Florestal da Vegetação Natural do Estado de São Paulo**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente/Instituto Florestal. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo.

Kugelmas, E. A crise da República Velha. In: di Cropani (ed.). *Nosso século: 1910/1930: anos de crise*. Cap. V. Café, **Indústria e a Belle Époque**, pp.: 130-164. São Paulo: Abril Cultural, 1981.

Lillesand, T.M.; Kiefer, R.W. **Remote sensing and image interpretation**. Madison: John Wiley & Sons, 384p., 1994.

Marçal, M.S.; Ramalho, R.S.; Guerra, A.J.T. Análise multitemporal do Município de Açailândia – Maranhão. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 10, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais**. São José dos Campos, INPE. CD-ROM, p. 1-8.

Meneses, P.R.; Madeira Netto, J.S. (organizadores) **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Editora UNB, Brasília, DF, 262p., 2001.

NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) – Disponível em: <http://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>. Acessado em 20 de dezembro de 2006.

Pereira, M.N.; Kurkdjian, M.L.N.O.; Foresti, C. Cobertura e uso da terra através de sensoriamento remoto. 1989. 118p. **Dissertação** (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, INPE.

Pires Neto, A. G. Estudo morfotectônico das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari, Jundiá e áreas adjacentes no Planalto Atlântico e Depressão Periférica. 1996. 71 p. (**Trabalho de Pós-Doutorado**). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

RADAMBRASIL. Levantamento de recursos naturais: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro; Vitória: Ministério das Minas e Energia. 1983. 780 p. Folhas SF 23/24. v. 32.

Schowengerdt, R.A. **Remote sensing, models and methods for image processing**. Academic Press, 522p. 1997.