

Análise das modificações da cobertura vegetal da planície fluvial do alto rio Paraná no período entre 1976 e 2007

Edivando Vitor Couto^{1*}, Edvard Elias de Souza Filho² e Ericson Hideki Hayakawa³

¹Universidade Federal do Paraná, Av. Francisco H. dos Santos, s/n, Centro Politécnico, Cx. Postal 19001, 81531-990, Jardim da Américas, Curitiba, Paraná, Brasil. ²Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil. ³Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais, São José dos Campos, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: edivandocouto@gmail.com

RESUMO. A vegetação da planície fluvial do rio Paraná sofre a pressão da ocupação antrópica desde a década de 1950. A área próxima a Porto Rico (Paraná) tem sido estudada desde os anos 1980, mas não há estudos dirigidos à distribuição espacial da vegetação. Os objetivos deste trabalho são cartografar as unidades vegetais e verificar a evolução temporal de sua distribuição entre 1976 e 2007. Para isso foram utilizadas imagens orbitais de 1976 (LANDSAT MSS-1), 1987 (LANDSAT TM-5), 2000 (LANDSAT ETM+7) e de 2007 (CBERS-2 CCD). As imagens foram georreferenciadas e classificadas pelo algoritmo Bhattacharya. Foram identificadas três classes de vegetação, corpos de água e áreas de solo exposto. A análise multitemporal demonstrou aumento contínuo da área de solo exposto, aumento da área dos corpos de água, mudança de posição das áreas úmidas no período entre 1976 e 1987 e modificações mais sutis de ambas as classes no período entre 1987 e 2007. As áreas de vegetação arbórea diminuíram em quase todos os anos. Tais dados permitem afirmar que a atuação antrópica sobre a planície vem se ampliando e que as principais cheias modificaram sua morfologia.

Palavras-chave: vegetação, desflorestamento, sensoriamento remoto, planície aluvial, rio Paraná.

ABSTRACT. Analysis of vegetation changes in the Paraná river floodplain between 1976 and 2007. The removal of vegetation from the Paraná river floodplain has been increasing since the 1950s until the present time, but no study has been made about its spatial distribution. The purpose of this paper is to map and analyze the temporal evolution of vegetation distribution over the Paraná river floodplain between 1976 and 2007. Orbital images from 1976 (LANDSAT MSS-1), 1987 (LANDSAT TM-5), 2000 (LANDSAT ETM+7) and 2007 (CBERS-2 CCD) were utilized to compare the evolution of the vegetation distribution over that time period. The images were georeferenced using SPRING 4.3.3 software and classified by the Bhattacharya algorithm; the maps were produced using the Global Mapper 7.4 software. Three different classes of vegetation, water bodies and exposed soil areas were distinguished for each studied year. The comparison of the generated vegetation maps showed a significant enlargement of the water bodies and a position change of the humid vegetation areas between 1976 and 1987, among other small modifications in the referred classes between 1987 and 2007. This indicates that the major river floods modified the morphology of the floodplain, and that the continuous enlargement of the exposed soil areas, along with the reduction of the vegetation areas, showed that anthropic action over the floodplain has increased over the years.

Keywords: vegetation, deforestation, remote sensing, floodplain, Paraná river

Introdução

A ocupação da região de Porto Rico teve início em 1948, com intensa substituição da vegetação natural pelo cultivo do café. Em 1953, a cafeicultura já ocupava 7% da área insular das ilhas Mutum e Porto Rico, conforme demonstrou Souza Filho e Corrêa (1999). Pelas cheias do rio Paraná, a ocupação das ilhas e da planície aluvial para o plantio do café não prosperou, porém, essas áreas continuaram a ser desmatadas nos anos seguintes para a implantação de pastagens. Em 1996, as referidas ilhas possuíam apenas 15% de sua

vegetação original. No final da década de 1990, houve a criação de duas unidades de conservação: a Área de Proteção Ambiental (APA) Ilhas e Várzeas do rio Paraná (30/9/1997) e o Parque Estadual do Ivinheima (17/12/1998).

A vegetação da planície aluvial está fortemente condicionada às formas geomorfológicas (SOUZA FILHO, 1993). As formas arbóreas estão presentes nas áreas mais altas (diques marginais). As formas arbustivas estão presentes nas áreas de altitude média da planície, que permanecem secas na maior parte do ano. As formas higrófilas, por sua vez, dominam

as áreas úmidas e mais baixas (bacias de inundação). Como a dinâmica fluvial do rio Paraná modifica as áreas de ocorrência das formas geomorfológicas, as áreas de domínio dos tipos de cobertura vegetal também se modificam.

Considerando que a planície aluvial que ocorre à jusante da barragem de Porto Primavera é o último remanescente que ainda não foi inundado por barragens no alto rio Paraná e que os estudos realizados na área desde meados da década de 1980 não abordaram a evolução da cobertura vegetal, este trabalho busca avaliar a dinâmica da cobertura vegetal da planície aluvial do referido rio a partir da década de 1970.

O objetivo geral deste trabalho é avaliar as modificações que ocorreram na cobertura vegetal da planície fluvial do rio Paraná na área compreendida entre a foz do rio Paranapanema e as proximidades do rio Ivinheima, no período entre 1976 e 2007, por meio de dados obtidos a partir de imagens de sensores remotos.

Os objetivos específicos incluem a cartografia da cobertura vegetal nos anos de 1976, 1987, 2000 e 2007 e a comparação dos resultados obtidos para cada ano, de forma a avaliar a evolução de cada unidade de vegetação no período.

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

A área do estudo perfaz a planície de inundação do alto rio Paraná, localizada no Estado do Mato Grosso do Sul (Figura 1). O trecho abordado dispõe-se entre as proximidades da foz do rio Paranapanema e a foz do rio Baía. Nas imediações da área se encontram os municípios sul matogrossenses de Jateí, Bataiporã e Taquaruçu.

Mesmo com a barragem de Porto Primavera a montante, a área ainda é submetida a períodos de inundação que favorecem a manutenção de um complexo ecossistema com dinâmica adaptada e tolerante a solos inundados, ou que periodicamente sejam inundados. Pela variação hidrológica anual, sua morfologia encontra-se em transformação, representando a transição entre ambiente terrestre e aquático (ROCHA et al., 2003).

O substrato da área do estudo é constituído pelos arenitos da Formação Caiuá (K) e por depósitos inconsolidados que compõem a planície fluvial, a denominada Unidade rio Ivinheima (SOUZA FILHO; STEVAUX, 1997; 2004). Do ponto de vista geomorfológico, a área ocorre numa altitude que varia entre 237 e 240 m a montante e 231 e 235 m à jusante.

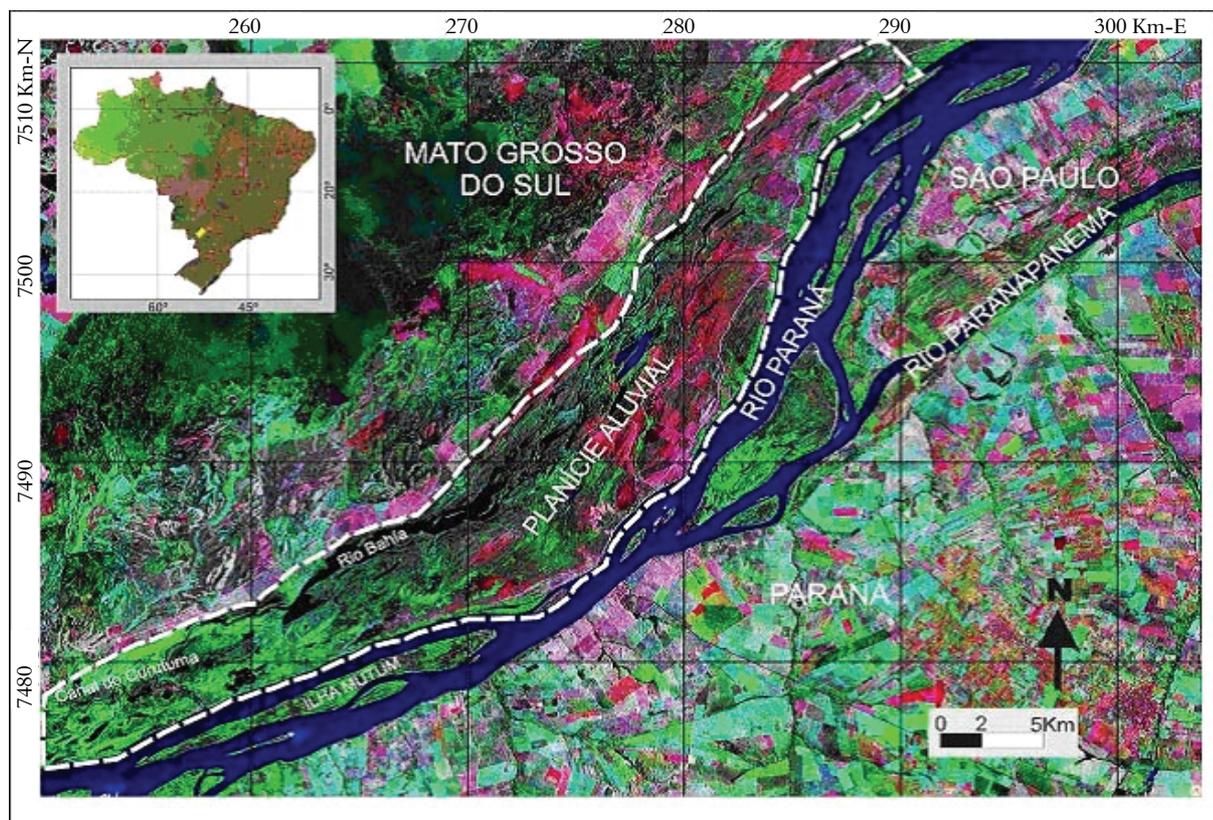


Figura 1. Localização da área de estudo na Planície Fluvial do alto rio Paraná.

É predominantemente plana e possui feições que marcam a posição de canais pretéritos, registros do antigo sistema anastomosado que foi responsável pela construção da parte superior da planície (SOUZA FILHO, 1993).

Os solos da planície são caracterizados como aluviais, em geral, hidromórficos. O clima é o subtropical úmido mesotérmico Cfa(h), segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 22°C e com índice pluviométrico de 1.200 mm (IBGE, 1990). As chuvas distribuem-se durante todos os meses do ano, com maior volume no período de novembro a março, enquanto que as menores médias são verificadas nos meses de junho a agosto.

A vegetação da região pertence ao domínio da Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (IBGE, 1990). A região abriga alta diversidade de espécies vegetais que estão distribuídas nos afluentes na forma de “cordões ciliares”, em áreas de várzeas, campos artificiais e pastagens naturais. Em locais úmidos e encharcados das margens, rios e lagoas, encontra-se vegetação paludícola. Nas margens das lagoas e várzeas de canais secundários, a vegetação dominante é composta por gramíneas e poligonáceas (FACHINI, 2001).

As imagens de sensores remotos são documentos que registram as características da superfície da Terra no momento em que são obtidas. Até a década de 1970, a obtenção desse tipo de informação era registrada por meio de fotografias aéreas, e, a partir do final de 1972, o sistema satelital LANDSAT 1 começou a produzir imagens de toda a superfície do planeta com resolução temporal de dias. Com o passar do tempo um considerável conjunto de satélites e sensores passou a obter registro de superfície, possibilitando a existência de significativo acervo de informações.

As imagens orbitais não possuem a resolução espacial das fotografias aéreas, mas em geral apresentam duas vantagens: a repetição de imageamento em tempo relativamente curto e a possibilidade de obtenção de dados multiespectrais. A repetição de imageamento facilita o estudo das variáveis dinâmicas da superfície, e os dados multiespectrais permitem a caracterização de propriedades físicas de objetos sobre a superfície, ou próximos a ela.

A caracterização das propriedades físicas pode ser feita porque os diferentes objetos refletem, absorvem e transmitem a energia radiante proveniente do Sol de formas distintas, além de emitirem diferentes intensidades de energia de acordo com sua composição e temperatura. Ou seja, os diferentes objetos possuem diferentes assinaturas espectrais.

Para a realização deste trabalho, utilizaram-se imagens de satélite MSS/LANDSAT, TM/LANDSAT E CCD/CEBERS de diferentes datas, conforme apresenta a Tabela 1.

Tabela 1. Imagens orbitais utilizadas no trabalho.

Satélite	Sensor	Órbita	Ponto	Data
LANDSAT-1	MSS	240	76	4/2/1976
LANDSAT-5	TM	223	76	14/3/1987
LANDSAT-7	ETM+	223	76	12/5/2000
CEBERS-2	CCD	161	125	24/8/2007

As imagens foram adquiridas da Universidade de Maryland (<http://glcfapp.umiacs.umd.edu>) e do catálogo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), (www.inpe.br). Para o processamento digital das imagens e a elaboração dos mapas foram utilizados os aplicativos SPRING 4.3.3 e Global Mapper 7.4.

O trabalho contou com as seguintes etapas: a) aquisição das cenas; b) registro (georreferenciamento) das imagens de 1976 e de 2007, tendo como base imagens de 1973 e de 1987, que, juntamente com a de 2000, estavam ortogorrefenciadas; c) segmentação das imagens; d) classificação supervisionada; e) elaboração dos mapas temáticos.

A etapa de segmentação foi efetuada como pré-requisito para a classificação. Neste processo a imagem é segmentada em regiões com propriedades uniformes entre si. Entende-se por regiões o conjunto de *pixels* contínuos, que se espalham bidirecionalmente e que apresentam uniformidade. Baseando-se no método de crescimento de regiões e, pela realização de testes para se definir os limites de similaridade e área de cada região, foram adotados os valores expostos na Tabela 2.

Os baixos valores de similaridade implicam grande número de classes, fundamentais para a correta identificação das nuances da área. Já os pequenos valores das áreas em *pixels* significam maior capacidade de distinguir elementos da planície de inundação que possuem pequena extensão.

A classificação utilizou o algoritmo denominado “medida da distância de Bhattacharya”. Este classificador baseia-se na medida da separabilidade entre um par de classes espectrais, ou seja, mede a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais. O classificador Bhattacharya requer interação do usuário por meio do treinamento. Neste trabalho, as amostras de treinamento são as

regiões formadas na segmentação de imagens, conforme Hayakawa et al. (2010).

Tabela 2. Valores de similaridade por área.

Imagem	Data	Similaridade	Área (pixels)
L 1 MSS	4/2/1976	3	4
L 5 TM	14/3/1987	12	15
L 7 ETM+	12/5/2000	12	15
CBS 2 CCD	24/8/2007	7	10

A interface de treinamento permite dois tipos de obtenção de amostras: “aquisição” e “teste”. As amostras obtidas no modo “aquisição” são utilizadas pelo classificador e as amostras obtidas no modo “teste” são utilizadas apenas como auxiliares. Com a definição dos algoritmos de classificação e limiar de aceitação de 99,9% definiram-se as classes temáticas para se iniciar o mapeamento da planície de inundação.

O resultado da classificação da imagem de 2007 foi verificado em campo e o resultado da classificação das demais imagens foi verificado a partir de fotografias aéreas de 1970, 1980 e 1996. Cada uma das classificações foi utilizada para a preparação do respectivo mapa de cobertura vegetal da planície e, em seguida, a área de cada classe de vegetação foi calculada de forma a se permitir a comparação entre elas.

Resultados e discussão

No período anterior a 1950, a planície era revestida por vegetação primitiva, composta por vegetação arbustiva e gramíneas, por vegetação de áreas úmidas e encharcadas e por vegetação arbórea densa, dominante apenas nas áreas mais altas da planície (SOUZA FILHO, 1993; SOUZA FILHO; CORRÊA, 1999).

A partir de 1950, a ocupação humana passou a ser mais intensa e o desflorestamento aumentou. A Tabela 3 ilustra as modificações do grau de cobertura vegetal nas ilhas Porto Rico, Mutum e Carioca (SOUZA FILHO; CORRÊA, 1999).

Em fevereiro de 1976, a planície era dominada por vegetação arbustiva e gramíneas e por vegetação de áreas úmidas (Figura 2). Nessa época, a área de solo exposto já era maior que a área de vegetação arbórea e as áreas de vegetação de áreas úmidas distribuíam-se em torno dos corpos de água. A maior parte da área de solo exposto ocorria em antigas áreas de vegetação arbórea e de vegetação arbustiva e gramíneas.

Tabela 3. Área de vegetação preservada, em porcentagem.

Ilhas	1953	1965	1970	1980	1996
Mutum	93,2	66,0	43,7	39,6	15,0
Carioca	100,0	81,6	67,1	57,4	18,3

Fonte: Souza Filho e Corrêa (1999).

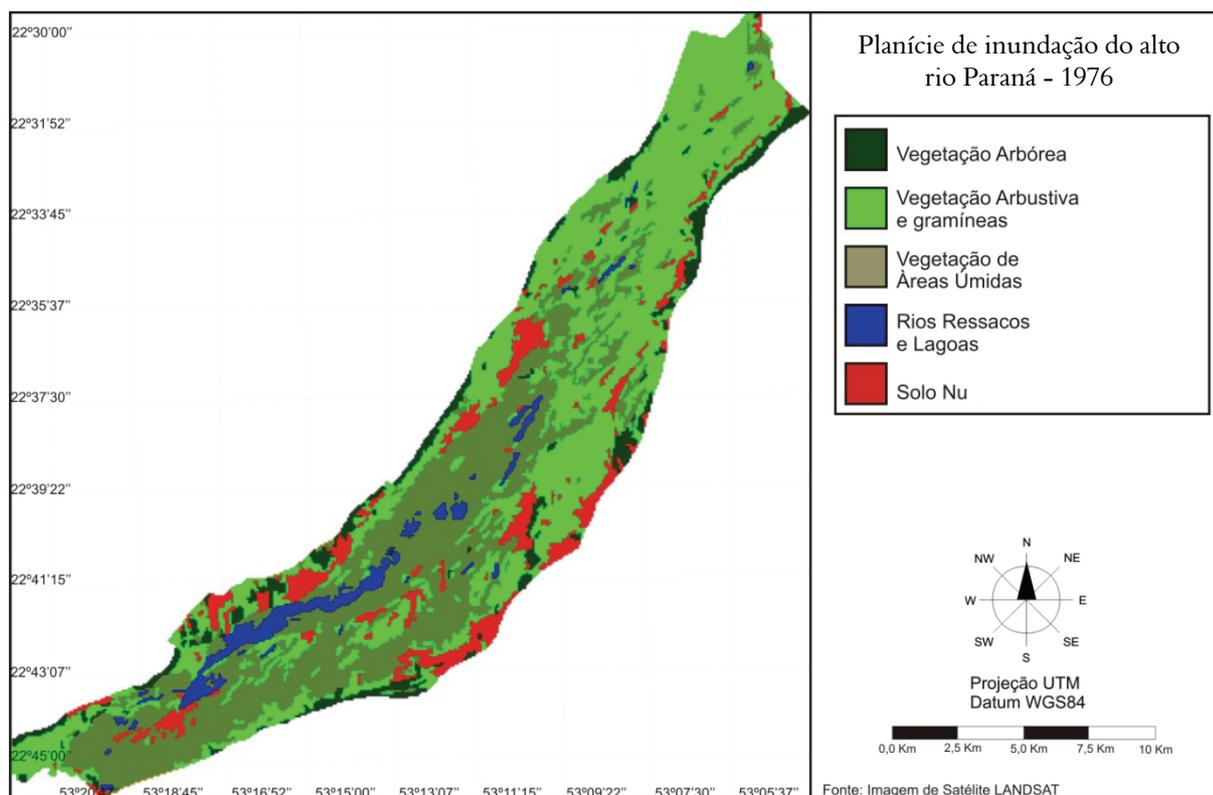


Figura 2. Mapa da Cobertura Vegetal da planície em 4 de fevereiro de 1976.

Em março de 1987, a área de vegetação arbustiva e de gramíneas havia aumentado, assim como as áreas de solo exposto e de corpos de água (Figura 3). A superfície ocupada por vegetação de áreas úmidas teve seu tamanho reduzido e passou a ocupar a porção Leste e Norte da área estudada. A expansão da área de solo exposto ocorreu principalmente pela remoção da vegetação arbustiva e de gramíneas e pela remoção da vegetação arbórea.

Em maio de 2000, as áreas de solo exposto e de vegetação arbórea aumentaram, enquanto as áreas das demais classes diminuíram (Figura 4). As áreas úmidas diminuíram principalmente na parte Norte da planície, dando lugar a solo exposto e à vegetação arbustiva e às gramíneas. A expansão da área de solo exposto ocorreu pela ocupação de áreas úmidas e de áreas de vegetação arbustiva.

Por fim, em agosto de 2007, apenas as áreas de ocorrência dos corpos de água e de vegetação de áreas úmidas tiveram aumento de tamanho (Figura 5). Contudo, a distribuição da área de ocorrência de vegetação arbórea, das áreas úmidas e de solo exposto foi modificada. As áreas úmidas voltaram a ocorrer na porção Sul da planície,

expandindo-se em sua parte Norte.

A variação da área estimada de cada unidade de mapeamento encontra-se na Figura 6. Observa-se que a ocupação da planície continuou aumentando por todo o período estudado e, apenas em 2007, houve redução da área de solo exposto, ainda assim, essa diminuição ocorreu graças à expansão das áreas úmidas na parte Norte da planície.

A variação de área dos corpos de água e da vegetação de áreas úmidas está relacionada à dinâmica fluvial dos rios Paraná, Ivinheima e Baía (ROCHA et al., 2003). À medida que há aumento da descarga do rio Paraná, os corpos de água e as áreas úmidas têm sua área de ocorrência ampliada, seja pela elevação do freático, seja pelo impedimento do fluxo do rio Baía ou do rio Ivinheima, ou ainda pela entrada de água do próprio rio Paraná na planície. Por outro lado, quando o nível das águas do rio Paraná decresce, a área dos corpos de água e das áreas úmidas diminui, uma vez que o nível do lençol freático abaixa e o escoamento dos rios Baía e Ivinheima torna-se mais eficiente.

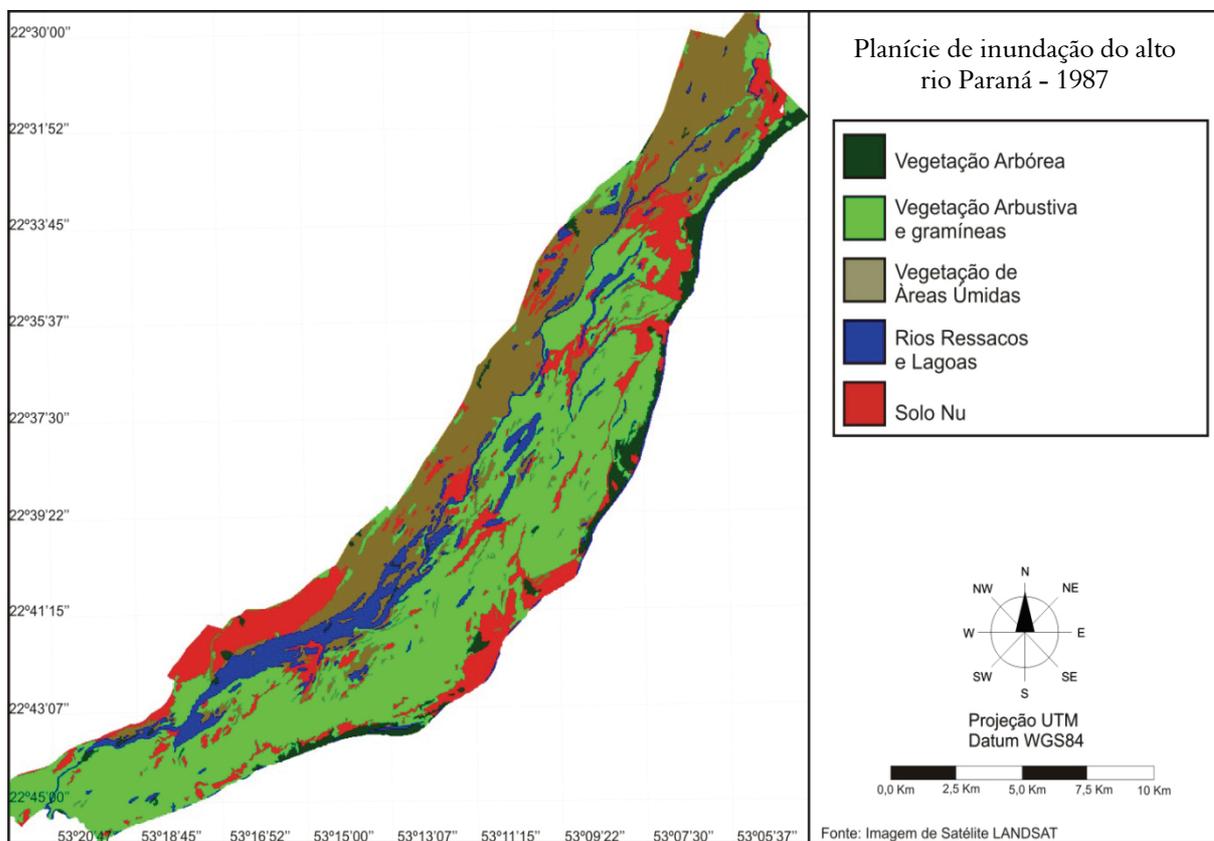


Figura 3. Mapa da Cobertura Vegetal da planície em 14 de março de 1987.

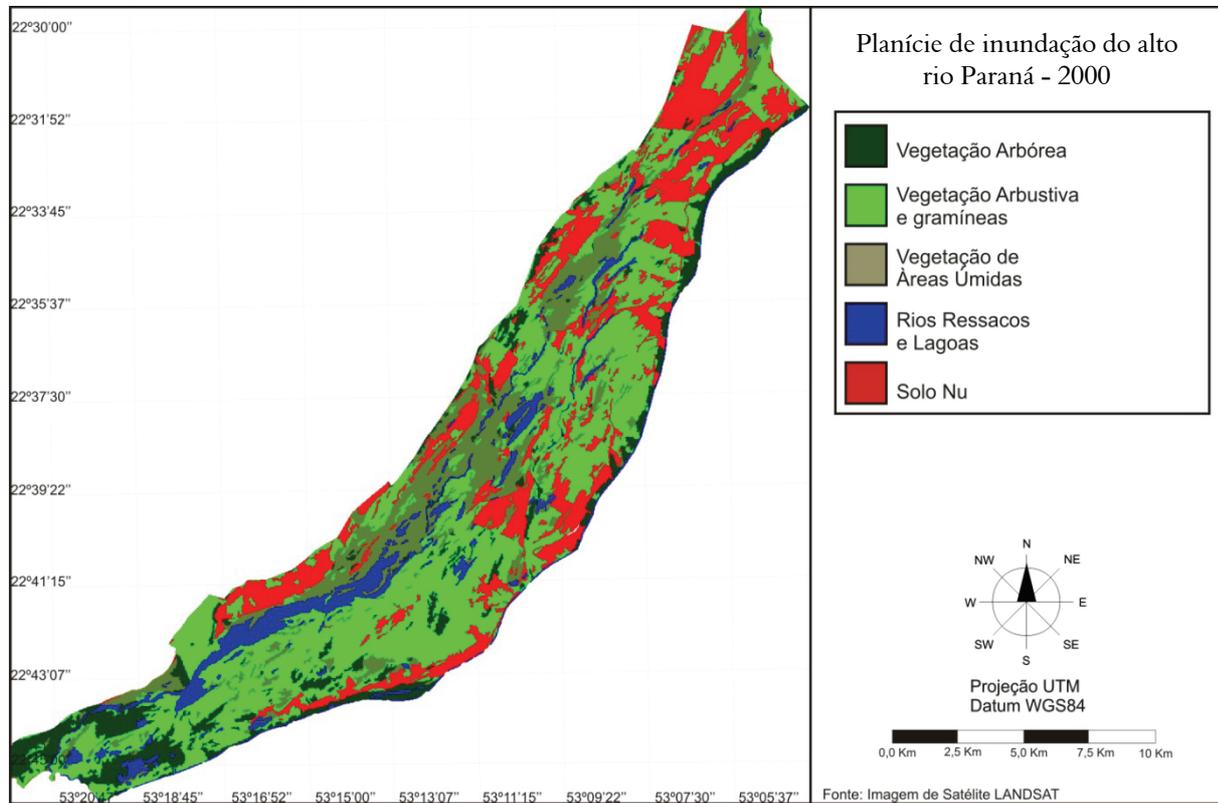


Figura 4. Mapa da Cobertura Vegetal da planície em 12 de maio de 2000.

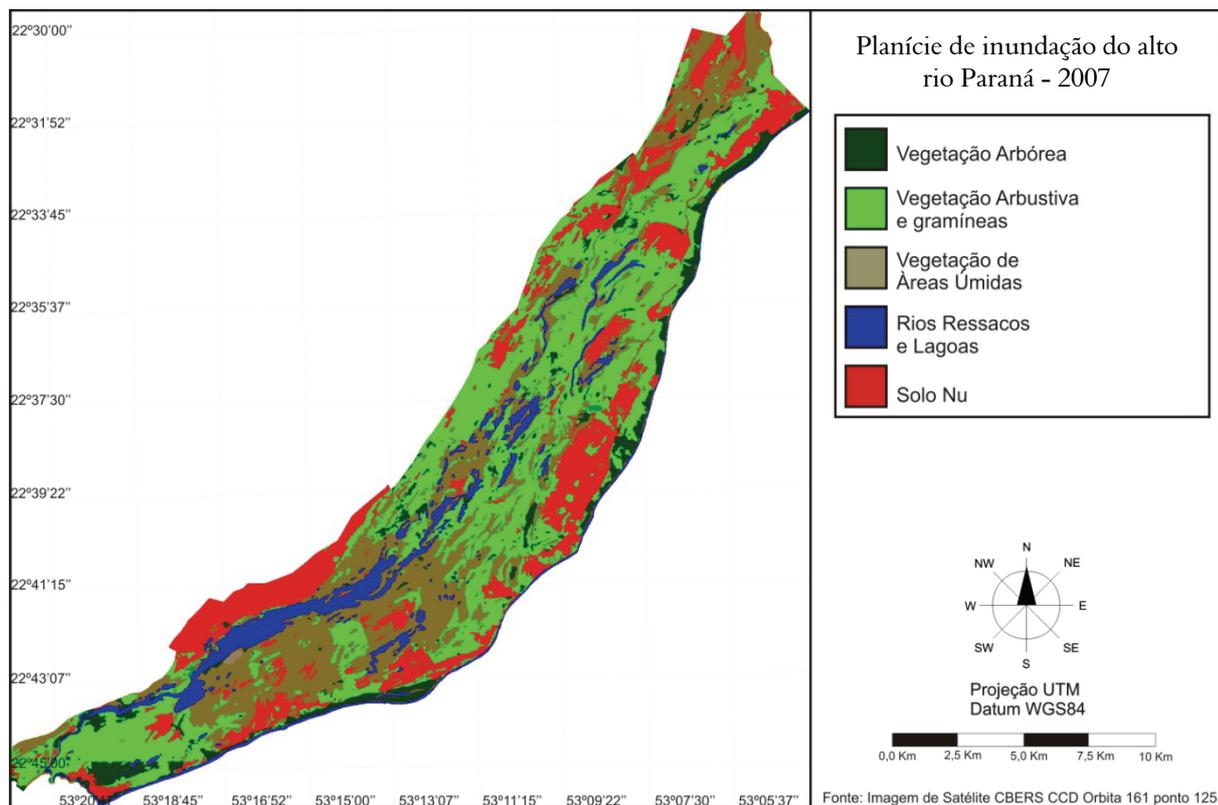


Figura 5. Mapa da Cobertura Vegetal da planície em 24 de agosto de 2007.

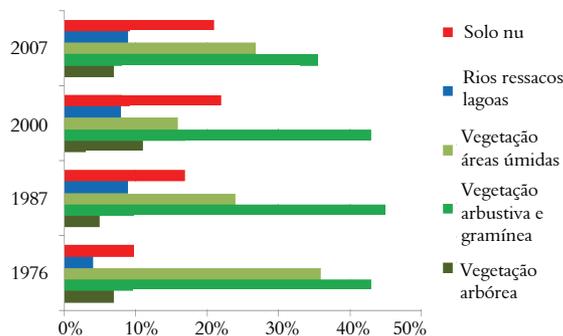


Figura 6. Porcentual estimado da área ocupada pelas unidades de vegetação na área estudada da planície de inundação do alto rio Paraná.

O aumento da descarga do rio Ivinheima produz efeito semelhante, mas atinge apenas a parte da planície situada ao Sul da área de estudo. Tanto no caso do rio Paraná como no caso do rio Ivinheima, as cheias são o resultado da precipitação pluvial em toda a bacia situada a montante. Contudo, a elevação do nível de água do rio Baía é causada pela precipitação local e, dessa forma, pode haver ampliação da área dos corpos de água e das áreas úmidas sem que o rio Paraná esteja com descarga acima do normal.

Portanto, para se analisar as variações da área de ocorrência das duas unidades de mapeamento mencionadas, é necessário conhecer o nível do rio Paraná na data da obtenção de cada imagem (Tabela 4), além das variações de nível dos dias anteriores, uma vez que, caso a descarga esteja em recessão, parte da água pode continuar na planície, já que seu escoamento e o abaixamento do freático são mais lentos que as variações do canal fluvial.

Considerando-se apenas o nível fluviométrico do rio Paraná, a área ocupada pelos corpos de água deveria ser maior no mapa de 1976, já que no dia 4/2/1976 se verificou a maior descarga fluvial dentre as quatro datas em que foram obtidas as imagens utilizadas para a preparação dos mapas. Contudo, pelo exposto na Figura 6, esse é justamente o dia em que os corpos de água ocupam a menor área dentre as quatro imagens utilizadas.

Tabela 4. Níveis fluviométricos registrados na estação de porto São José na data da obtenção das imagens utilizadas.

Data	Nível (m)	Tendência
4/2/1976	3,98	aumento
14/3/1987	3,63	aumento
12/5/2000	2,74	diminuição
24/8/2007	3,27	aumento

A análise do comportamento do nível fluviométrico nos dias anteriores (Figura 7) mostra

que em todos os casos havia tendência de aumento da descarga fluvial, com exceção de 12/5/2000 (Tabela 4), cuja série anterior mostra que o nível do rio estivera em 3,31 m em 5/5/2000, tendo regredido para 2,68 m em 9/5, a partir de quando passou a apresentar pequena variação diária.

Uma vez que, entre o ano de 1976 e o ano de 1987, a área dos corpos de água aumentou consideravelmente, mesmo em valores de descarga mais baixos, é possível que tenha havido modificação da morfologia da planície nesse período e é possível que a cheia de 1982/1983 tenha sido responsável por tal modificação.

Se esse fosse o caso, a variação de área dos corpos de água no período posterior a 1983 deveria ter acompanhado a variação do nível do rio. A Figura 6 ilustra que, em março de 1987 e em agosto de 2007, as áreas ocupadas pelos corpos de água nas duas datas eram equivalentes e, em maio de 2000, ela era menor que as das duas datas mencionadas. Essa situação pode ser resultado de duas condições: a diferença do nível de água em 14/3/1987 e em 24/8/2007 não seria significativamente grande para provocar diferença sensível na área dos corpos de água, ou as cheias que ocorreram entre ambos os períodos modificaram a morfologia da planície.

As áreas de ocorrência de charcos mostram boa relação com o nível do rio Paraná nos anos de 1976, 1987 e 2000, porém, isso não ocorre no ano de 2007 (Figura 6, Tabela 4). Uma vez que nessa data o nível do rio estava em ascensão (Figura 7) e não houve precipitação no período anterior à data da tomada da imagem (de acordo com os dados das estações meteorológicas de Porto Rico e do rio Baía), é provável que as cheias entre 1987 e 2007 tenham modificado a morfologia da planície. As diferenças entre as distribuições das áreas úmidas em 1987 (Figura 3), 2000 (Figura 4) e 2007 (Figura 5) aparentemente corroboram essa afirmação.

Por fim, as variações da área ocupada pela vegetação arbórea indicam que a criação das unidades de conservação em 1997 e 1998 não surtiu o efeito esperado, visto que o aumento de área registrado em 2000 não poderia ter sido causado pelas medidas de preservação adotadas, face ao pequeno intervalo de tempo transcorrido. Os dados de 2007 mostram considerável redução de área, quando comparados aos dados do ano 2000.

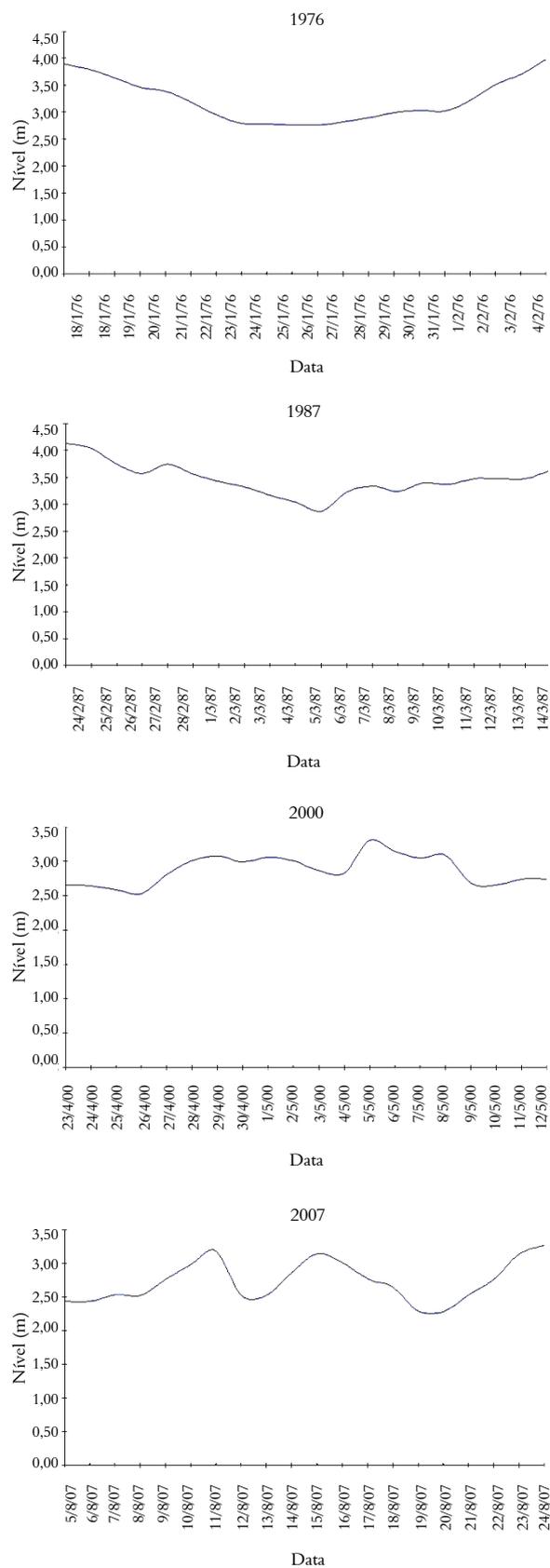


Figura 7. Nível fluviométrico do rio Paraná na estação de porto São José no dia da obtenção das imagens utilizadas e nos 19 dias anteriores.

Conclusão

A área ocupada pelos corpos de água apresentou aumento entre 1976 e 1987, indicando possível mudança na morfologia da planície em algum momento desse período. Da mesma forma, os dados de 1987 e 2007 indicam que, nesse período, deve ter ocorrido outra modificação morfológica da planície.

Uma vez que entre 1976 e 1987 ocorreu a maior cheia já registrada no rio Paraná (1982/1983), é muito provável que o aumento da área ocupada pelos corpos de água e a mudança de posição da área ocupada pelos charcos e brejos sejam resultado da ação geomorfológica das águas altas desse episódio extremo. Por outro lado, uma vez que ocorreram cheias significativas em 1990, 1997 e 2007 (SOUZA FILHO, 2009), é possível que uma delas ou todas elas tenham provocado mudanças geomorfológicas na planície.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado graças ao apoio do CNPq (processos 473991/2006-3, 310564/2006-9 e 503221/2005-8), tendo sido possível pela política de disponibilização de imagens adotada pelo INPE.

Referências

- FACHINI, M. P. **Fitofisionomia e levantamento florístico sobre em transectos na planície de inundação do alto rio Paraná**. 2001, 68f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)-Departamento de Biologia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2001.
- HAYAKAWA, E.; COUTO, E.; SOUZA FILHO, E. E.; PRADO, B.; PAULA, P. Temporal analysis of Paraná river floodplain (Porto Rico - PR region) using remote sensing data. **Boletim de Geografia**, v. 28 n. 1, p. 115-126, 2010.
- IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geografia do Brasil**. Região Sul. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. v. 2.
- ROCHA, P. C.; COMUNELLO, E.; SOUZA FILHO, E. E. Considerações sobre a variabilidade hidrológica do alto rio Paraná. **Geo UERJ**, v. 1, n. especial, p. 2022-2031, 2003.
- SOUZA FILHO, E. E. **Aspectos da geologia e estratigrafia dos depósitos sedimentares do rio Paraná entre Porto Primavera (MS) e Guaira (PR)**. 1993. 214f. Tese (Doutorado em Geociências, Geologia Sedimentar)-Instituto Geociencias, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- SOUZA FILHO, E. E. Evaluation of the Upper Paraná River discharge controlled by reservoirs. **Brazilian Journal of Biology**, v. 69, n. 2, p. 707-716, 2009.
- SOUZA FILHO, E. E.; CORRÊA, G. T. Comparação entre as variações de área de dois arquipélagos do rio

Paraná nas proximidades de Porto Rico (PR). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 8., 1999, Belo Horizonte, **Anais...** Belo Horizonte, 1999. v. 1. p. 159-160.

SOUZA FILHO, E. E.; STEVAUX, J. C. Geologia e geomorfologia do complexo rio Baía, Curutuba, Ivinheima. In: VAZZOLER, A. E. A. M.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, N. S. (Ed.). **A Planície de inundação do alto rio Paraná**. Maringá: Eduem/Nupélia, 1997. p. 1-45.

SOUZA FILHO, E. E.; STEVAUX, J. C. Geology and Geomorphology of the Baía-Curutuba-Ivinheima

Complex. In: THOMAZ, S. M.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, N. S. (Org.). **The upper Parana river and its floodplain: physical aspects, ecology and conservation**. 1st ed. Leiden: Backhuys publishers, 2004. p. 1-29.

Received on January 23, 2009.

Accepted on October 16, 2009.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.