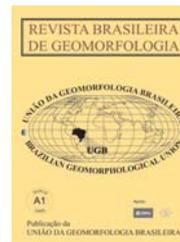




www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 13, nº 3 (2012)



A INFLUÊNCIA DA INUNDAÇÃO NA DINÂMICA DA VEGETAÇÃO DA PLANÍCIE FLUVIAL DO ALTO RIO PARANÁ EM 2007

THE INFLUENCE OF WETLAND DYNAMICS ON VEGETATION OF RIVER PLAIN IN THE UPPER PARANA RIVER IN 2007

Everton Hafemann Fragal

Universidade Estadual de Maringá- UEM

Departamento de Geografia – GEMA – Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente - Av. Colombo, 5790 – Jardim
Universitário – CEP 87.020-900 - Maringá – PR - e-mail: ev3rt0n@hotmail.com

Fabio Corrêa Alves

Universidade Estadual de Maringá- UEM

Departamento de Geografia – GEMA – Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente - Av. Colombo, 5790 – Jardim
Universitário – CEP 87.020-900 - Maringá – PR - e-mail: alves.fabioc@gmail.com

Edvard Elias de Souza Filho

Universidade Estadual de Maringá- UEM

Departamento de Geografia – GEMA – Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente - Av. Colombo, 5790 – Jardim
Universitário – CEP 87.020-900 - Maringá – PR - e-mail: eesfilho@uem.br

Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:
11/12/2011

Data de Aprovação:
14/03/2013

Palavras-chave:

Planície fluvial, cobertura vegetal, níveis fluviométricos, rio Paraná, Sensoriamento Remoto.

Keywords:

Fluvial plain, vegetation, fluviometric level, Paraná River, Remote sensing.

Resumo

A distribuição da vegetação da planície fluvial do rio Paraná é controlada pelas formas de relevo, pela dinâmica fluvial e pela ação antrópica. A dinâmica fluvial exerce sua influência por meio da variação do nível de água, responsável pela expansão ou retração das áreas úmidas. O objetivo do trabalho foi avaliar a dinâmica da inundação e sua influência na distribuição da vegetação na planície de inundação do alto rio Paraná ao longo da cheia de 2007. Para isso foram utilizadas nove imagens do satélite Landsat 5, sensor TM, para o mapeamento multitemporal da vegetação arbórea, herbácea e higrófila, além das áreas ocupadas pela água. Os dados do mapeamento foram correlacionados aos valores de nível fluviométrico dos rios Paraná e Ivinheima e com os de precipitação na área do rio Baía. Os resultados demonstraram que a cheia eliminou a vegetação situada na área atingida pelas águas e que a recolonização teve início após a recessão do nível fluviométrico. Além disso, pode ser observada a relação direta entre o nível dos rios Paraná e Ivinheima com a área atingida pela inundação e a relação inversa entre as duas variáveis e a área de vegetação higrófila e herbácea. A área ocupada pela vegetação arbórea não apresentou relação com os níveis fluviométricos. Os resultados permitiram concluir que a área de água sobre a planície pode ser calculada por meio da equação $Y = -71,297 + 36,7658 \times \text{Nível do rio Paraná}$, com 3,9% de margem de erro, ou pela equação $Y = -69,7652 + 23,8296 \times \text{Soma dos níveis}$, com margem de erro de 4%. A área ocupada pela vegetação higrófila pode ser estimada pela equação $Y = 174,8752 - 31,256 \times \text{Nível do rio Ivinheima}$, com 14,5% de margem de erro, enquanto a estimativa da área de vegetação herbácea pode ser realizada pela equação $Y = 159,2524 - 19,7147 \times \text{Nível do rio Paraná}$, com erro de 17,8%.

Abstract

The distribution of vegetation in the fluvial plain of the Parana River is controlled by the forms of relief, the fluvial dynamics and human activities. The fluvial dynamics exerts its influence through changes in the level of water, responsible for the expansion or contraction of wetlands. The objective of this study was to evaluate the dynamics of flood and its influence on the distribution of vegetation in floodplain of the upper Paraná River, during 2007. For this, nine Landsat 5 images were used for multitemporal mapping of the flooded area and trees, herbaceous and hygrophilous vegetation area. The mapping data were correlated to the data level of the Parana and Ivinheima rivers and precipitation data on the Baía River. The results showed that the flood eliminated the vegetation located in the flooded area and the plant succession began after the recession of the fluviometric level. Furthermore, the results showed that there is a direct relationship between levels of the Parana and Ivinheima rivers and flooded area, and an inverse relationship between these levels and the area of herbaceous and hygrophilous vegetation. The area remain with tree vegetation not show relation with fluviometric levels. The results allowed conclude that of water on the plain can be calculated using the equation $Y = -71.297 + 36.7658 \times \text{Parana Level}$ (with 3.9 % of error) or by $Y = -69,7652 + 23,8296 \times \text{Sum of Levels}$ (4 % of error), the area occupied by hygrophilous vegetation can be estimated by the equation $Y = 174,8752 - 31,256 \times \text{Ivinheima Level}$ (14,5 % of error) and the area of herbaceous vegetation can be estimated by $Y = 159,2524 - 19,7147 \times \text{Parana Level}$ (with 17,8 % of error).

Introdução

As características gerais das variáveis que comandam o sistema fluvial são o clima, representado pela quantidade e distribuição da precipitação e a geologia que controla o gradiente e composição do material que insere-se no canal (CORRADINI et al., 2006). Das combinações dessas variáveis a distribuição da cobertura vegetal torna-se dependente.

Em abordagens de planície de inundação a cobertura vegetal é influenciada pela variação do regime hidrológico do rio, condicionado pelo clima, pela geomorfologia que é constituída por ações pretéritas e atuais do rio segundo seu potencial de trabalho e material constituinte (geologia), somado as ações humanizadas que desenvolvem suas atividades sobre a planície, regidas pelo interesse do desenvolvimento econômico. Nesse contexto, a planície fluvial do Alto rio Paraná encontra-se abrangendo essas conjunturas.

A cobertura vegetal da planície fluvial do rio Paraná é um importante recurso natural e detém funções ecológicas, econômicas e sociais. A vegetação está controlada pelas formas de relevo originárias dos processos deposicionais que a originaram, pela dinâmica fluvial e pela ocupação humana. As relações entre as formas topográficas da planície e a vegetação foram descritas inicialmente por SOUZA FILHO (1993), que utilizou a vegetação arbórea para a cartografia dos diques marginais, a vegetação arbustiva para o mapeamento das áreas de paleo-barras e paleo-leques de rompimento de diques, a vegetação herbácea para a identificação da área de acumulação e a vegetação higrófila para a determinação das áreas úmidas.

A dinâmica fluvial, marcada pela complexa relação entre a descarga fluvial dos rios Paraná, Ivinheima e Baía (COMUNELLO et al., 2003), exerce sua influência por meio da variação dos níveis fluviométricos e conseqüentemente, por meio da variação das áreas inundadas e úmidas. Em ní-

veis mais altos, as áreas inundadas e encharcadas aumentam sua área de ocorrência e em níveis mais baixos, tais áreas diminuem. Ou seja, os locais de ocorrência de vegetação higrófila, herbácea e arbustiva podem variar de acordo com o nível da água.

A ação humana sobre a vegetação local começou na década de 1950, com o início da ocupação intensiva na planície, atingiu seu ápice no final da década de sessenta (SOUZA FILHO e CORRÊA, 1999) e persiste até hoje, apesar da criação de unidades de conservação. O controle do desflorestamento é fundamental para a conservação ecológica, geomorfológica, na produção pesqueira, na qualidade de água e qualidade de vida da população das áreas adjacentes (CAMPOS e SOUZA, 1997; SERAFIM 2003; HAYAKAWA, 2007; JORCIN et al., 2009 SOUZA FILHO, 2011).

A relação entre a distribuição da vegetação e as formas de relevo da planície já está bem estabelecida, a ocupação vem sendo monitorada (COUTO et al., 2011), mas a influência da dinâmica fluvial ainda é pouco conhecida. Outros trabalhos foram executados para elucidação das relações entre as formas de relevo e cobertura vegetal, sendo suas abordagens em caráter de águas baixas dos rios Paraná e Ivinheima, não descrevendo a variabilidade da vegetação em função do regime hidrológico (CORRADINI et al., 2006; HAYAKAWA et al., 2009; SAMIZAVA et al., 2009; WATANABE et al., 2009).

No trabalho de SAMIZAVA, (2009), o autor abordou a variação do regime hidrológico (cheia e vazante) do rio Paraná com a área de abrangência na planície fluvial e analisou a variabilidade da cobertura vegetal ao longo dos anos de 1975 à 2008 em cotas fluviométricas baixas.

Posteriormente, COUTO et al., (2010), verificaram que a cheia de 1982/1983 modificou a topografia da planície e promoveu a retirada da vegetação herbácea e arbustiva. Os altos níveis fluviométricos alcançados pela cheia teriam

sido responsáveis pelos fluxos que alteraram a posição das áreas mais baixas e a sua permanência prolongada teria provocado a morte da vegetação menos adaptada ao alagamento persistente.

A partir deste estudo surgiu a hipótese de que a vegetação atingida por cheias com permanência significativa poderia proporcionar a morte da vegetação herbácea e arbustiva situada nas áreas inundadas. Tais locais seriam recolonizados a partir de um processo de sucessão suportado pelas sementes existentes no solo. Neste caso, o grau de encharcamento controlaria a tipologia vegetal emergente.

Contudo, a barragem de Porto Primavera, concluída ao final de 1998, proporcionou o controle do regime de descarga do rio Paraná, tornando-o um rio regulado (SOUZA FILHO, 1999). Neste estado, o rio deixou de apresentar baixas descargas (exceto em 2001, ano da crise de energia) e as cheias tiveram sua magnitude e permanência diminuídas (SOUZA FILHO *et al.*, 2004; SOUZA FILHO, 2009). Assim, as águas do rio voltaram a cobrir os diques marginais apenas no ano de 2005, fato repetido em 2007, 2009 e 2010 (SOUZA FILHO, 2011).

Dentre tais episódios de cheia, o de 2007 (período pós barramento) foi aquele em que as águas permaneceram por mais tempo em níveis superiores ao de perímetro úmido máximo (SOUZA FILHO, 2011). Por esta razão, tal ano foi escolhido para mensurar a dinâmica da cobertura vegetal pela influência da manutenção de cotas fluviométricas elevadas induzida pela barragem.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica da inundação e sua influência na distribuição da vegetação na planície de inundação do alto rio Paraná ao longo da cheia de 2007.

A área de estudo

A área de estudo encontra-se no sudeste do Estado de Mato Grosso do Sul, próximo ao noroeste do Estado do Paraná. Está compreendida pelo polígono definido pelas coordenadas de 22° 25' 00" S, 53° 30' 00" W, 22° 50' 00" S e 52° 50' 00" W (Figura 1). Ela ocupa a porção norte das Unidades de Conservação "Parque Nacional do Ivinheima" e "Área de Proteção Ambiental das Ilhas e Várzeas do Rio Paraná".

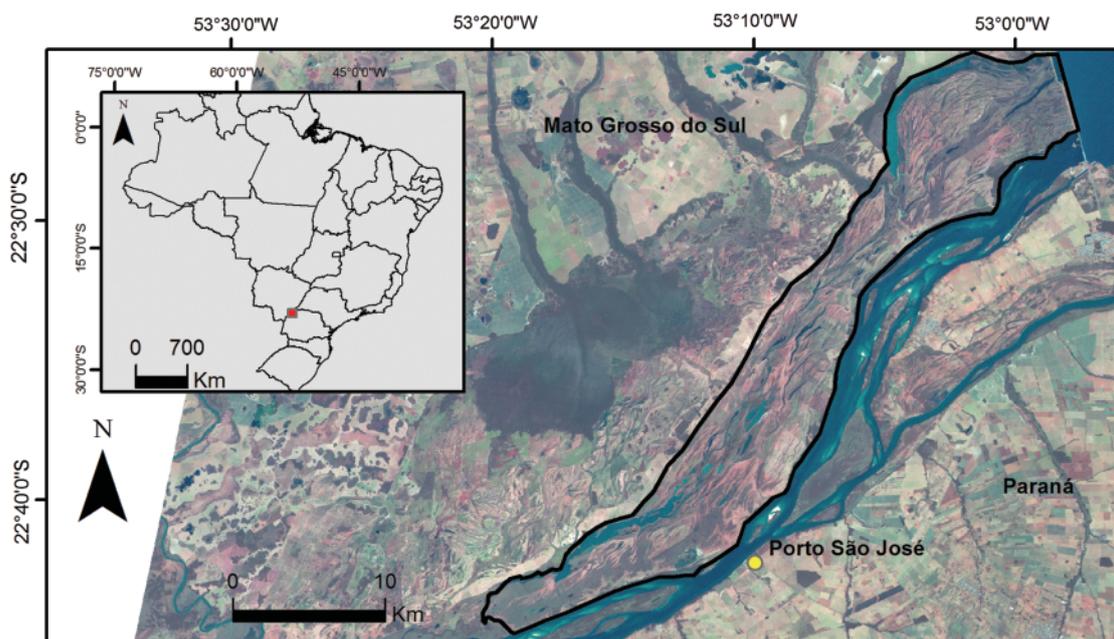


Figura 1 - Localização e imagem da área de estudo. Composição colorida R3 G2 B1 de 27/07/2007.

Neste local, a planície fluvial do rio Paraná possui um micro relevo cujas partes mais altas (diques marginais ativos e abandonados) situam-se entre 242 e 238 metros e cujas partes mais baixas (canais ativos e abandonados, bacias de inundação) situam-se entre 237 e 232 metros (de montante para jusante).

O micro relevo é resultante da deposição promovida por canais anastomosados que cobriram parcialmente formas

de canais entrelaçados arenosos e da modificação parcial promovida pelo atual padrão do rio Paraná, entrelaçado arenoso, conforme descrito por SOUZA FILHO (1993; 1994). A atuação destes três padrões sucessivos deixou um registro em que as áreas altas são suportadas pelos diques marginais, as áreas de altitude média correspondem à paleo-barras e paleo-leques de rompimento de diques marginais, enquanto as áreas

baixas correspondem à bacia de inundação, canais ativos, paleo-canais e leques de rompimento de diques ativos.

Conforme mencionado, os diques marginais e os paleo-diques são cobertos por vegetação arbórea que corresponde à mata ciliar, as paleo-barras e os paleo-leques são cobertos por vegetação arbustiva e as áreas baixas são cobertas por vegetação higrófila. A transição entre estas duas áreas pode ter vegetação herbácea ou higrófila, dependendo do grau de encharcamento.

Tais formas podem ser cobertas pelas águas do rio Paraná, Ivinheima e Baía, conforme a magnitude e a sincronia das cheias de cada rio, de acordo com ROCHA (2002) e COMUNELLO *et al.* (2003). No caso de ondas de cheia do rio Paraná, a entrada de água na planície é feita inicialmente por meio da elevação do lençol freático, que proporciona a conexão das lagoas com os canais fluviais a partir do nível de 3,5 metros (9.900 m³/s) na estação fluviométrica de Porto São José. A partir de 4,6 metros (12.745 m³/s), a área situada à jusante começa a ser inundada e a partir de 6,0 m (16.356 m³/s) as partes intermediárias são cobertas pelas águas. A co-

bertura dos diques marginais ocorre a partir de 7,0 m (19.335 m³/s), de acordo com SOUZA FILHO (1993).

Nas cheias do rio Ivinheima, a inundação da planície tem início quando a água atinge o nível de 2,5 metros (472 m³/s) na Estação Fluviométrica de Ivinheima e a cobertura dos diques marginais ocorre a partir do nível de 4,0 metros (890 m³/s), conforme ROCHA (2002). As inundações do rio Baía ocorrem quando há episódios de chuvas intensas e prolongadas, mas não há monitoramento de nível ou vazão disponível.

A dinâmica de inundação levou ROCHA (2002) a propor a existência de três “Zonas de Inundação”: a do rio Ivinheima, a do rio Paraná e a do rio Baía (Figura 2 A). A área de estudo compreende a parte montante das “Zonas de Inundação do rio Paraná (Z.I.P.) e do rio Baía (Z.I.B.). Nesta área, ANDRADE (2008), identificou as partes mais baixas e mais altas da planície (Figura 2 B) e verificou que as águas de inundação também invadem a bacia de inundação de jusante para montante.

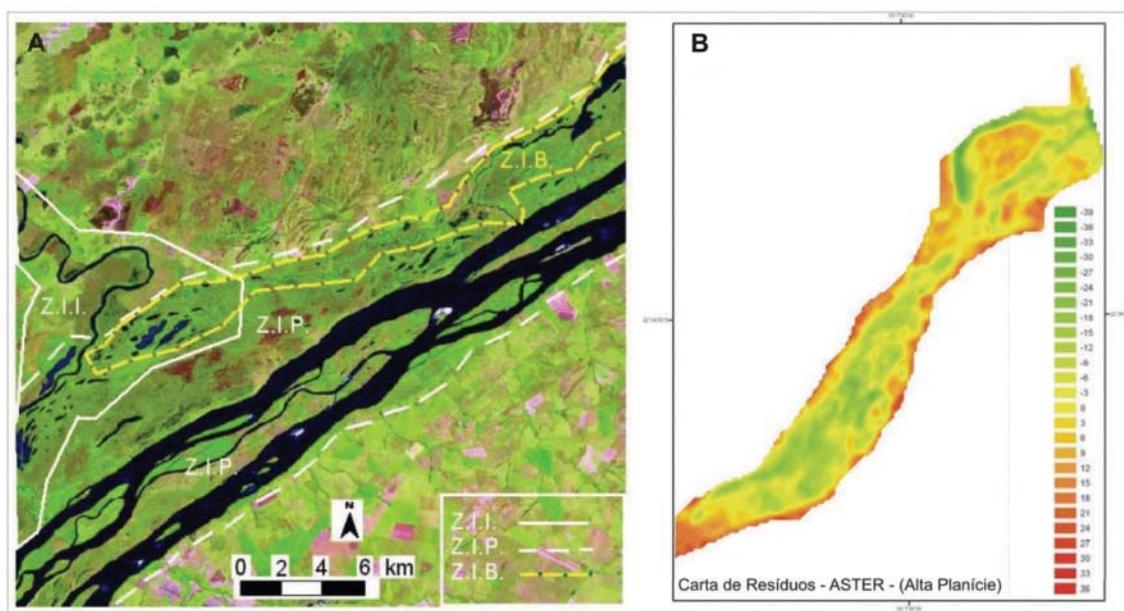


Figura 2 - Área de ocorrência da Zona de Inundação do Ivinheima (Z.I.I.), do Paraná (Z.I.P.) e do Baía (Z.I.B.), (Rocha, 2002) (A) e Mapa de resíduos evidenciando as partes mais baixas (verde) e mais altas (vermelho) da planície (B), ANDRADE (2008).

Materiais e métodos

A distribuição da vegetação na planície fluvial foi obtida por meio da interpretação de imagens de satélite que permitiram a obtenção de dados radiométricos do período anterior, do contemporâneo e do posterior à cheia. Além disso, foram selecionadas imagens que permitiram verificar as alterações da cobertura vegetal ao longo de alguns meses após a cheia. Foram utilizadas 9 imagens do sensor TM, do satélite

LANDSAT 5, disponíveis pela página do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (www.inpe.br). As imagens pertencem a cena 223/076 e são referentes aos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, junho, julho agosto e setembro. As imagens obtidas nos meses faltantes não apresentaram qualidade para o desenvolvimento do trabalho.

Todas as imagens passaram pelo processo de georreferenciamento com base na imagem adquirida pelo “Global

Land Cover Facility” disponível no site www.landcover.org/index.shtml. Para isso foi utilizado o método de polinômios de primeiro grau e interpolação por vizinho mais próximo com RMS (*Root Mean Square*) inferior a 0,5 pixel, de acordo com o proposto por Daí e Khorram (1998). O registro das imagens utilizou a projeção *Universal Transverse Mercator* (UTM) e o *Datum* WGS 84, tendo sido realizada por meio do uso *software* ENVI 4.5 (RSI, 2008).

A área de estudo foi recortada em todas as imagens e os recortes foram interpretados. O processo de interpretação foi desenvolvido a partir da classificação supervisionada por meio do uso do algoritmo *Support Vector Machine* (SVM), (SULSOFT, 2009).

O SVM é um classificador não probabilístico utilizado para o reconhecimento de padrões a partir de amostras representativas de cada classe. A separação das classes ocorre por meio de uma superfície de decisão que maximiza a margem de separação entre as classes, chamada de hiperplano ideal e os pontos que estão próximos à margem do hiperplano são denominados de vetores de suporte (SULSOFT, 2009). A vantagem desse classificador é a possibilidade de adaptação para conjuntos não lineares por meio das funções *kernels* não lineares.

A classificação pelo algoritmo SVM inclui o parâmetro de penalidade que controla a concessão entre os erros de treinamentos permissíveis e o limite rígido das margens, gerando uma margem de tolerância entre classes (SULSOFT, 2009). O “limiar de probabilidade de classificação” possibilita a definição da probabilidade requerida para o classificador rotular os pixels. No trabalho foi utilizada a função não linear *Radial Basis Function* (RBF), porque ela apresentou a discriminação das classes de forma mais adequada (gerou menos confusão entre elas). Os outros parâmetros foram escolhidos com o *Gamma in Kernel Function* 0.167, com penalidade cem (100) e limiar de probabilidade de mudanças de classe zero (0).

Para a realização da classificação foram definidas 5 classes: solo exposto, vegetação arbórea, vegetação herbácea, vegetação higrófila e água. Quando necessário, foi utilizada a classe nuvem. A classe vegetação herbácea inclui tanto as áreas de ocorrência de vegetação rasteira como a de vegetação arbustiva. Foram coletadas amostras de cada classe em cada imagem e foi aplicado o algoritmo SVM para a realização da classificação. Tanto a amostragem quanto a classificação fez uso de todas as bandas, com exceção da banda 6 (IV termal). Após a classificação, cada classe recebeu uma coloração própria para permitir melhor representação cartográfica. Para validação das

áreas classificadas foram coletados dados de controle de campo e uso de fotografias aéreas.

A área ocupada por cada classe em cada imagem foi medida e o valor obtido foi utilizado para a verificação de sua variação temporal e relação com o nível fluviométrico dos rios Paraná e Ivinheima e com a precipitação local.

O nível fluviométrico do rio Paraná e do rio Ivinheima foi monitorado com base na série histórica da estação de Porto São José (registro 64.575.003) e da estação de Ivinheima (registro 64.617.000), disponível no site da Agência Nacional das Águas (ANA). Para avaliar a situação do rio Baía, que não dispõe de estação fluviométrica, foram utilizados os valores de precipitação registrados na estação meteorológica do NUPÉLIA (estação rio Baía), cujos dados podem ser obtidos pelo portal http://www.peld.uem.br/peld_est_meteor.htm#Rio_Baia.

Os dados foram submetidos à análise de correlação, considerando-se os dados fluviométricos e de precipitação como variáveis independentes e os dados de área das classes como variáveis dependentes. A análise foi efetuada inicialmente com os dados brutos e posteriormente com os dados normalizados. Em todos os casos foi utilizado o programa “Statística”.

Resultados e discussão

No período entre início de janeiro e o final de setembro a descarga fluvial do rio Paraná e o do rio Ivinheima variaram conforme exposto na Figura 3. No rio Paraná a onda de cheia teve início em 8 de janeiro e a descarga aumentou rapidamente até atingir 17.280 m³/s (6,02 m) no dia 20 e ultrapassar 18.000 m³/s no dia 30. A partir daí a vazão variou acima deste último valor até o dia 3 de março, a partir de quando os valores diminuíram rapidamente até voltarem a valores próximos ao da média histórica, no dia 10 de março.

O rio Ivinheima iniciou o ano com vazão crescente, que atingiu o máximo no dia 18 de fevereiro. A partir de então, a fase de recessão da cheia teve início e prolongou-se até o início de abril, embora tenha sido interrompida por duas pequenas ondas de aumento e diminuição da descarga. Após isso, a vazão manteve tendência de diminuição ao longo do ano, embora tenham ocorrido outros dois episódios significativos de aumento e diminuição dos valores, um no final de maio e outro no final de julho e início de agosto. Tal comportamento é completamente diferente do apresentado pelo rio Paraná porque este está regulado pela UHE de Porto Primavera, enquanto o rio Ivinheima ainda possui vazão natural.

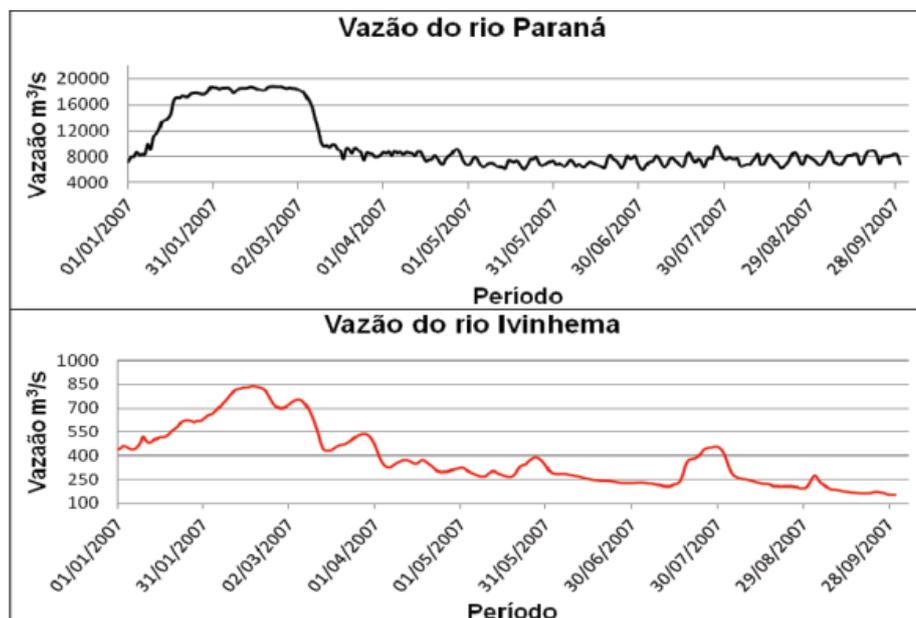


Figura 3 - Hidrogramas dos rios Paraná (acima) e Ivinhema (abaixo) nas estações de Porto São José e Ivinhema, compreendendo o período entre 01/01 a 28/10 de 2007.

A distribuição e os valores diários de precipitação encontram-se na Figura 4 e confirmam a menor ocorrência de eventos de precipitação no meio do ano, ainda que a maior intensidade diária tenha ocorrido em julho.

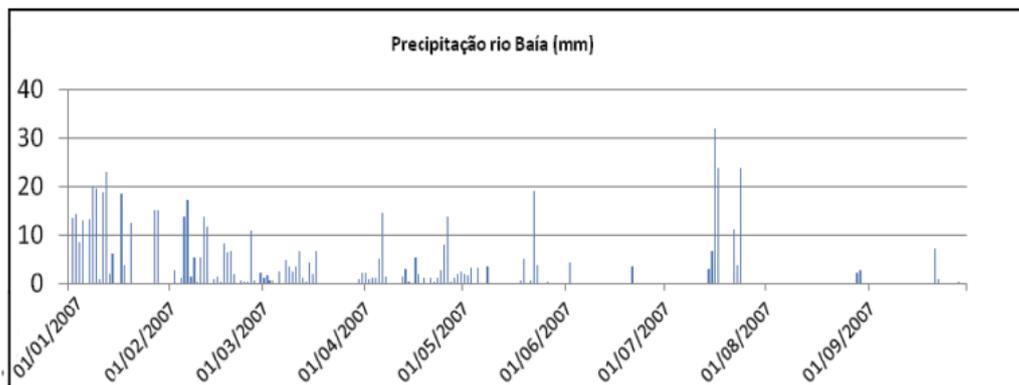


Figura 4 - Precipitação diária no rio Baía entre janeiro e setembro de 2007, de acordo com os dados da estação meteorológica do NUPÉLIA

Os mapas da Figura 5 mostram a sequência de inundação da planície (A, B e C) e demonstram que a cheia atingiu a parte jusante e média da área estudada, ocupando as áreas de vegetação higrófila e herbácea. As áreas de solo exposto existentes em janeiro (Figura

5 A) também foram encobertas, mas outras áreas apareceram no início de fevereiro e de março (Figuras 5 B e C). As formas poligonais indicam que grande parte dos locais com solo exposto tem origem a partir da ação antrópica.

Os mapas da Figura 6 mostram a diminuição das áreas úmidas (vegetação higrófila) e das áreas de solo exposto, mas mostra também a expansão das áreas de vegetação herbácea. A diminuição das áreas de vegetação higrófila provavelmente está relacionada ao escoamento das águas da planície e a redução da área de solo exposto pode ser relacionada à recuperação da vegetação após a descida das águas.

A grande área de solo exposto presente na Figura 6 (A) confirma a hipótese de que as cheias prolongadas promovem o aparecimento de solo exposto em função da morte da vegetação encoberta pelas águas. Por sua vez, a sucessão

responsável pela recuperação da cobertura vegetal é um fenômeno bastante rápido, uma vez que a cheia terminou em 10/03/2007 (Figura 3) e as áreas de solo exposto seriam muito pequenas em 09/06/2007 (Figura 6 C) não fosse a ocorrência de área sob ação antrópica.

A Figura 7 mostra diferentes situações da área ocupada pela água na planície, as modificações da cobertura vegetal e evidências de que a ação antrópica ainda se faz presente, como atestam as áreas de solo exposto com formas poligonais. Aparentemente, a criação de unidades de conservação não eliminou o desflorestamento da planície.

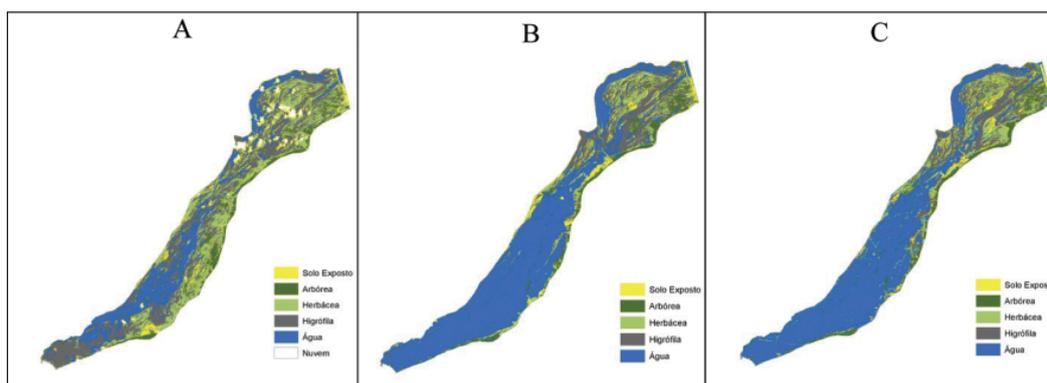


Figura 5 - Resultado da classificação das imagens dos dias 16/01/2007 (A), 01/02/2007 (B), 05/03/2007 (C). A sequência mostra a evolução da área inundada, uma vez que o nível do rio Paraná na estação de Porto São José era de 5,27 m, 6,40 m e 5,98 m, respectivamente.

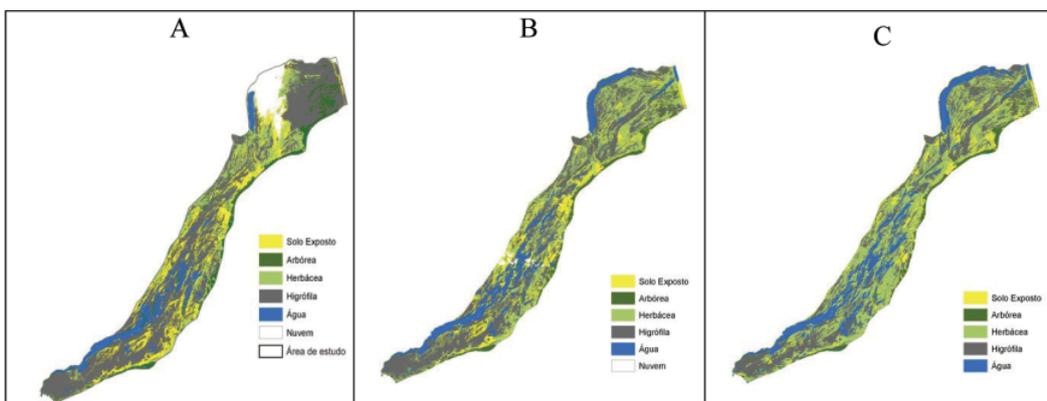


Figura 6 - Resultado da classificação das imagens dos dias 21/03/2007 (A), 22/04/2007 (B) e 09/06/2007 (C), sob condições de recessão das águas, com os níveis do rio Paraná variando de 3,24 m para 2,54 m e 2,55 m e os do rio Ivinheima variando de 2,38 m para 1,63 m e 1,44 m, de acordo com as datas mencionadas.

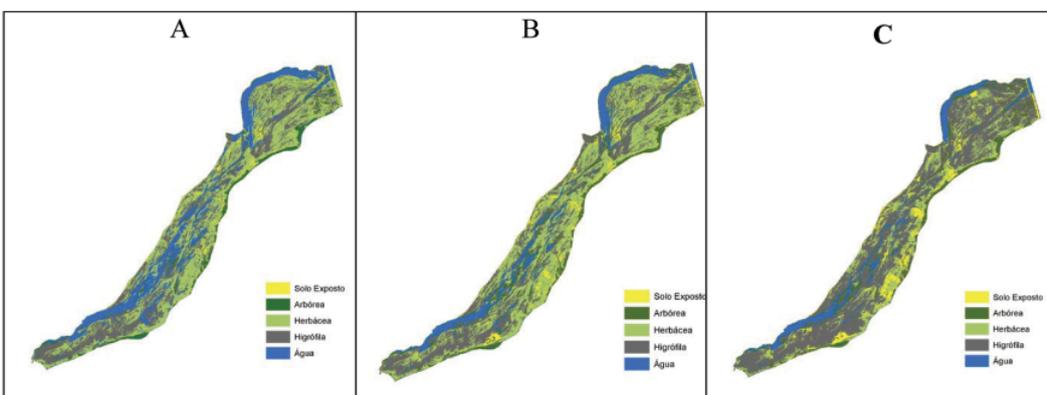


Figura 7 - Resultado da classificação das imagens dos dias 27/07/2007 (A), 12/08/2007 (B) e 13/09/2007 (C). O nível do rio Paraná era de 3,59, 2,53 e 3,12 m, enquanto o do rio Ivinheima era de 2,29, 1,23 e 0,94 m, respectivamente.

A comparação das classes temáticas a partir de pontos de controle em campo e fotografias aéreas permite a validação desses produtos, Figura 8. Os regimes hidrológicos dos rios Paraná e Ivinheima situavam-se em condições de vazante, destacando assim, a diversidade vegetacional da planície fluvial. A vegetação herbácea detém maior presença nas áreas topograficamente intermediárias, com influência da água em cotas fluviométricas mais elevadas (maior que 4,00 m), Figura 8A. Esta classe suporta áreas úmidas, porém com uma permanência contínua de água podem

levar à sua morte devido o stress hídrico. A categoria B e C da Figura 8 ilustram a vegetação higrófila e sua distribuição predominante na área (aproximadamente 113 km²), localizando-se nas áreas mais rebaixadas e com elevada influência da variação do lençol freático. As regiões elevadas na topografia onde se localiza a vegetação arbórea (figura 8D), obtêm maior influência em altas cotas fluviométricas dos rios, sendo expressivamente afetada em cotas superiores a 7 m do rio Paraná e 4,5 do rio Ivinheima, (ROCHA, 2002 SOUZA FILHO, 2011).

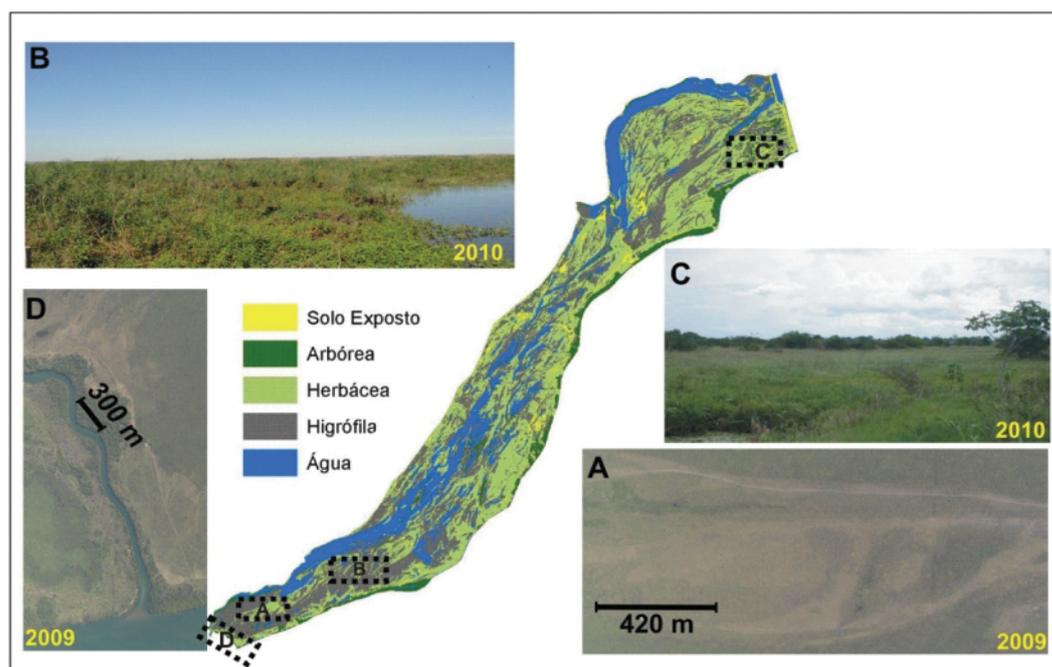


Figura 8 - Validação das classes mapeadas por meio de pontos de controle coletados em campo e fotografias aéreas. (A) Vegetação herbácea sobre o antigo depósito de rompimento de dique marginal. A categoria B e C, ilustra a vegetação higrófila situada em regiões topograficamente mais baixas na planície. (D) Vegetação arbórea sobre um dique marginal.

Os valores da área que cada classe ocupava no terreno nas várias datas, o nível fluviométrico dos rios Paraná e Ivinheima, assim como a precipitação local nos dias anteriores

à passagem do satélite LANDSAT 5 encontram-se na Tabela 1. No dia de cada passagem e no dia anterior a elas não foi registrada ocorrência de precipitação.

Tabela 1 - Valor da área de cada classe cartografada, do nível fluviométrico nos rios Paraná (PSJ) e Ivinheima (IVI) e da precipitação no rio Baía no dia da passagem do satélite e nos dias anteriores.

Data	Nível (m)		Precipitação (mm)			Área ocupada pelas classes (km ²)				
	PSJ	IVI	3 dias	5 dias	7 dias	Solo exposto	Arbórea	Herbácea	Higrófila	Água
16/01/2007	5,27	2,58	6	31	51	16,40	21,08	74,50	132,43	49,90
01/02/2007	6,40	3,07	0	15	31	10,71	19,99	31,74	67,95	169,12
05/03/2007	5,98	3,45	1	4	6	12,95	21,27	40,32	74,44	150,84
21/03/2007	3,24	2,38	0	7	13	43,12	18,63	42,38	158,48	19,36
22/04/2007	2,54	1,63	1	3	10	28,52	15,45	90,82	136,53	27,76
09/06/2007	2,55	1,44	0	0	0	19,71	14,51	123,16	111,33	36,71
27/07/2007	3,59	2,29	0	28	39	9,73	17,20	116,70	113,19	45,36
12/08/2007	2,53	1,23	0	0	0	13,49	29,82	123,71	108,89	29,61
13/09/2007	3,12	0,94	0	0	0	17,38	25,72	61,75	172,65	23,55

A análise de correlação entre os dados hidrológicos e os dados de área de cada classe teve como resultado a matriz apresentada na Tabela 2. Para sua elaboração foi utilizada uma variável adicional resultante da soma do nível fluviométrico do rio Paraná e do nível do rio Ivinheima. Tal procedimento foi adotado devido à diferença observada nos hidrogramas

das duas estações fluviométricas (Figura 3). Os dados obtidos a partir das imagens dos dias 16/01/2007 e 21/03/2007 não foram incluídos porque a área de nuvens era muito grande e afetava significativamente o valor de área das classes água, vegetação higrófila e vegetação herbácea.

Tabela 2 - Matriz de correlação entre as variáveis hidrológicas e a área ocupada por cada classe nas diversas datas. Os valores significativos estão em negrito.

		Classes				
		Solo exposto	Arbórea	Herbácea	Higrófila	Água
Nível (m)	PSJ	-0,57	-0,01	-0,83	-0,74	0,98
	IVI	-0,48	-0,25	-0,62	-0,84	0,92
	PSJ+IVI	-0,55	-0,10	-0,77	-0,79	0,98
Precipitação (mm)	3 dias	0,49	-0,27	-0,32	0,13	0,22
	5 dias	-0,56	-0,32	-0,01	-0,31	0,26
	7 dias	-0,49	-0,36	-0,14	-0,38	0,37

Uma vez que a precipitação no rio Baía não apresentou influência significativa sobre nenhuma das variáveis, foi realizado um teste para verificar se os dados de precipitação combinados aos de nível fluviométrico teriam alguma influência sobre as variáveis estudadas.

Para isso, os dados foram normalizados e foram incluídas as categorias “soma dos níveis fluviométricos e da precipitação em três dias”, “da precipitação em cinco dias” e “da precipitação em sete dias”. Os resultados encontram-se na matriz apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Matriz de correlação entre os valores normalizados das variáveis hidrológicas e da área ocupada por cada classe nas diversas datas. Os valores significativos estão em negrito.

		Classes				
		Solo exposto	Arbórea	Herbácea	Higrófila	Água
Nível (m)	PSJ	-0,57	-0,01	-0,83	-0,74	0,98
	IVI	-0,48	-0,25	-0,62	-0,84	0,92
	PSJ+IVI	-0,55	-0,10	-0,77	-0,79	0,98
Precipitação (mm)	3 dias	0,49	-0,27	-0,32	0,13	0,22
	5 dias	-0,56	-0,32	-0,01	-0,31	0,26
	7 dias	-0,49	-0,36	-0,14	-0,38	0,37
Precipitação+nível PSJ+IVI	3 dias	0,01	-0,24	-0,67	0,55	0,72
	5 dias	-0,64	-0,30	-0,26	-0,52	0,54
	7 dias	-0,57	-0,32	-0,38	-0,57	0,63

A análise de correlação dos dados normalizados obteve os mesmos resultados para as variáveis relacionadas aos níveis e à precipitação. Os resultados para a soma dos níveis mais a precipitação não obtiveram valores significativos, com exceção da correlação entre área de água e a soma da precipitação em três dias mais os níveis fluviométricos. Contudo, a correlação é bastante inferior as obtidas entre a classe água e os níveis dos rios.

Os dados das Tabelas 2 e 3 demonstram que neste caso, a precipitação não influenciou na distribuição de quaisquer das variáveis, possivelmente porque os eventos ocorreram muito antes das passagens do satélite e o volume precipitado sobre a planície teve pelo menos três dias de escoamento antes do imageamento.

Os resultados apresentados pelas duas matrizes demonstram que as áreas de solo exposto e de vegetação arbórea não são controladas pelos fatores hidrológicos, embora as correlações relativas à “solo exposto” indiquem que eles tenham influência sobre a variável, uma vez que em cinco situações os valores superaram 0,5.

A falta de controle do nível das águas sobre a vegetação arbórea deve-se a altura das árvores, que mantêm suas folhas acima das águas. Assim, mesmo com as águas cobrindo os diques marginais, o imageamento registra apenas as copas das árvores, que, resistentes ao encharcamento, não apresentam variações significativas em suas folhas. A variação da área ocupada por este tipo de vegetação (Tabela 1) pode estar

relacionada à quantidade de pioneiras de crescimento rápido existente no momento da passagem do satélite.

As áreas de vegetação herbácea e higrófila diminuem conforme o aumento da descarga dos rios Paraná e Ivinheima. Os valores obtidos pela análise de correlação indicam a possibilidade do uso dos valores de nível para a estimativa da área ocupada pelas duas classes mencionadas. Para a verificação desta hipótese foi utilizada a análise de regressão entre os níveis fluviométricos (variáveis independentes) e as áreas das duas classes.

No caso da vegetação higrófila, a regressão linear com o nível do rio Ivinheima obteve r^2 de 0,7028 (Figura 9 A), o melhor entre as três possibilidades, já que as demais obtiveram r^2 inferior a 0,63. Tal resultado indica que o nível fluviométrico do rio Ivinheima pode ser utilizado para estima-

tiva da área ocupada pela vegetação higrófila, mas não para um cálculo preciso. A margem de erro média foi de 14,5%, obtida a partir dos resíduos da análise de regressão. A aplicação da equação da Figura 9 A permite prever que quando o rio Ivinheima atingir níveis próximos a 5,6 m ($\pm 0,8$) na estação Ivinheima, a vegetação higrófila estará totalmente encoberta pelas águas.

No caso da vegetação herbácea, o maior valor de r^2 foi obtido por meio da regressão linear entre sua área e o nível do rio Paraná em Porto São José (Figura 9 B), mas seu valor (0,6968) não é satisfatório e a margem de erro média calculada a partir dos valores residuais da análise de regressão foi de 17,8%. O nível necessário para que a vegetação herbácea seja totalmente coberta pelas águas é de 8,08 m ($\pm 1,4$) na estação de Porto São José.

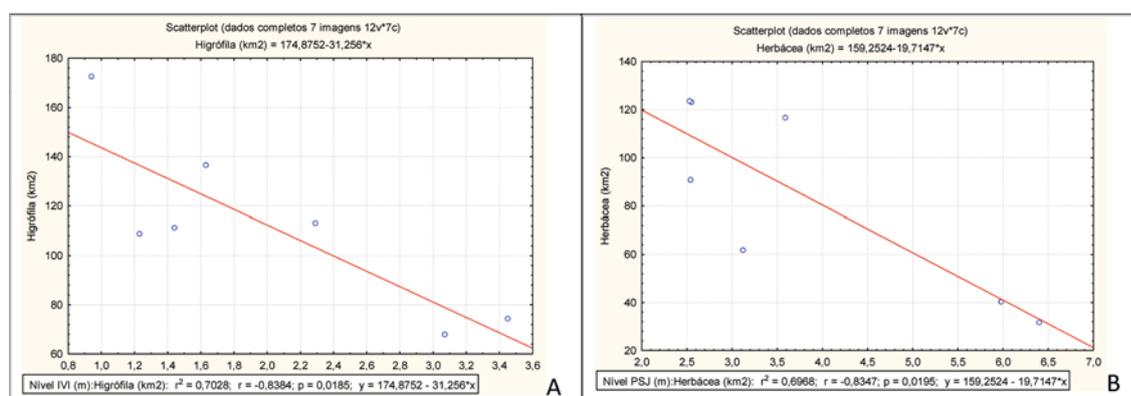


Figura 9 - Resultado da análise de regressão linear entre nível do rio Ivinheima e área de vegetação higrófila (A) e entre o nível do rio Paraná e a área de vegetação herbácea (B).

Os valores de correlação entre os níveis fluviométricos e a área de água mostram que tanto o nível do rio Paraná como a soma dos níveis dos dois rios podem ser utilizados para a

previsão da área alagada. Os valores de r^2 foram 0,9595 (PSJ) e 0,9553 (PSJ + IVI), Figura 10. A margem de erro média foi de 3,9 % para o nível da estação de Porto São José e de 4% para a soma dos níveis das duas estações.

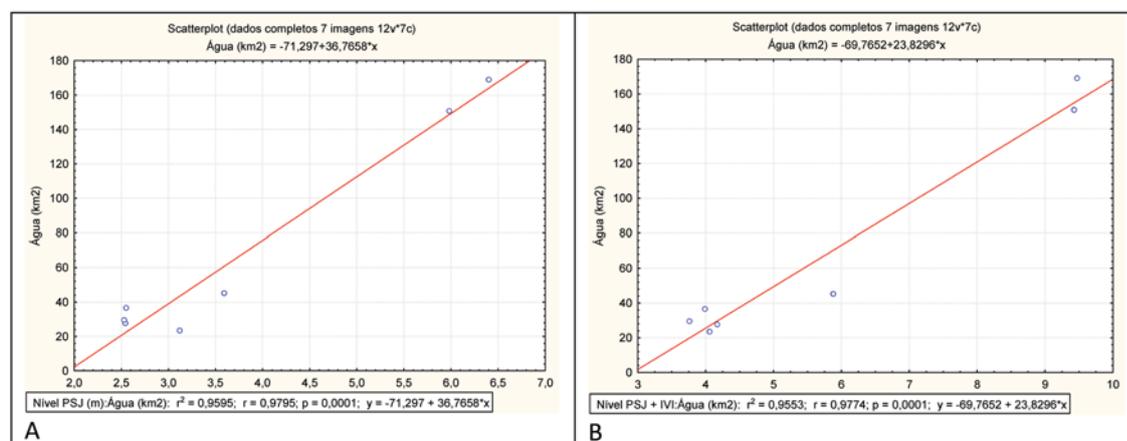


Figura 10 - Resultado da análise de regressão linear entre nível do rio Paraná e a área de água na planície (A) e entre a soma do nível do rio Paraná e do rio Ivinheima e a área de água (B).

O uso de ambas as equações para verificar o nível fluviométrico responsável pela inundação de toda a planície obteve 9,85 m ($\pm 0,38$) na estação de Porto São José e 15,13 m ($\pm 0,61$) para a soma dos níveis das duas estações. Tais resultados foram obtidos considerando-se a área de 305 km², da qual foi subtraída a área da vegetação arbórea.

Os valores obtidos demonstram que os níveis fluviométricos necessários para a completa submersão da planície são bastante superiores ao nível de recobrimento dos diques em Porto São José (7,00 m). Uma vez que o maior valor registrado na estação foi de 8,74 m (33 740 m³/s) em 18/02/1983 (SOUZA FILHO, 1993), é pouco provável que um evento de submersão completa venha a ocorrer. Tal dado reforça a afirmação de que a planície fluvial é um terraço baixo (SOUZA FILHO, *op. cit.*). Por outro lado, as mesmas equações mostram que quando o nível do rio estiver abaixo de 1,94 m ($\pm 0,005$) em Porto São José ou a soma dos níveis das estações for inferior a 2,93 m ($\pm 0,12$), a planície estará seca e a água estará restrita aos canais fluviais e lagoas.

A distribuição da cobertura vegetal na planície fluvial tende a destacar a variedade de formas de relevo da planície como constatado por SOUZA FILHO (1993) e a variação da micro topografia conforme descrito por CORRADINE (2006). Os tipos vegetacionais mais afetados são a vegetação higrófila e herbácea, no sentido jusante a montante, sendo principalmente a última que sofre pela permanência do regime hidrológico de cheia, provocando a morte, seguida pela sucessão vegetal do banco de sementes presentes na planície.

A influência dos níveis fluviométricos do rio Ivinheima sobre a área de vegetação higrófila, herbácea e sobre a área de água era considerada como certa na parte da planície situada à jusante da área estudada, onde ROCHA (2002) e COMUNELLO *et al.* (2003) definiram a Zona de Inundação do rio Ivinheima (Z.I.I.). Porém, na área estudada, ela não era considerada, pois o local de estudo encontra-se nas Zonas de Inundação do rio Paraná (Z.I.P.) e do rio Baía (Z.I.B.). É possível que as cheias do rio Ivinheima dificultem o fluxo da planície e proporcionem a ampliação da superfície ocupada pelas águas, tornando o quadro local ainda mais complexo.

Para finalizar, os dados mostram que há uma forte influência dos níveis fluviométricos sobre a vegetação higrófila e herbácea. À medida que os níveis fluviométricos do rio Paraná e do rio Ivinheima aumentam, a área ocupada pelos dois tipos de vegetação diminui e a vegetação encoberta morre. Após a recessão da cheia, as áreas cobertas pelas águas apresentam solo exposto, sobre o qual é iniciado o processo de sucessão vegetal responsável pela rápida recolonização da planície. A vegetação arbórea não é afetada pelas ondas de cheia.

Conclusões

A abordagem realizada permitiu verificar as relações entre os níveis fluviométricos dos rios Paraná e Ivinheima e da precipitação com a área ocupada pela água, pela vegetação higrófila, pela vegetação herbácea e arbustiva, pela vegetação arbórea e pelo solo exposto no ano de 2007.

O nível do rio Paraná, medido na estação de Porto São José, controla a área de ocorrência de toda vegetação não arbórea e é responsável pela área de água na planície. O nível do rio Ivinheima, medido na estação homônima, controla a área de vegetação higrófila e influencia a área de água na planície. A combinação do nível de ambos os rios controla a área de água e influencia a área de vegetação higrófila e herbácea. A precipitação registrada na estação do rio Baía não apresentou nenhum controle sobre quaisquer das variáveis, embora possa ter influência sobre a área de água, de vegetação arbórea e de solo exposto.

A área de água pode ser calculada por meio da equação $Y = -71,297 + 36,7658 \times \text{Nível do rio Paraná}$, com 3,9% de margem de erro, ou pela equação $Y = -69,7652 + 23,8296 \times \text{Soma dos níveis}$, com margem de erro de 4 %.

A área ocupada pela vegetação higrófila pode ser estimada pela equação $Y = 174,8752 - 31,256 \times \text{Nível do rio Ivinheima}$, com 14,5 % de margem de erro, enquanto a estimativa da área de vegetação herbácea pode ser realizada pela equação $Y = 159,2524 - 19,7147 \times \text{Nível do rio Paraná}$, com erro de 17,8 %.

A área de vegetação arbórea é completamente independente dos níveis do rio e da precipitação pluvial. As áreas de solo exposto têm forte relação com o período de cheia, visto que o valor máximo é atingido logo após a recessão das águas. Além disso, as áreas de solo exposto são influenciadas pelos níveis fluviométricos e pela precipitação, mas a presença de formas poligonais indica que parte de tais áreas é resultado da ação antrópica, o que não permite a obtenção de relações mais sólidas com as variáveis hidrológicas.

Uma vez que tais resultados são válidos para o ano de 2007, recomenda-se a realização de estudo semelhante em períodos de tempo mais longos para verificar sua aplicabilidade em toda a série de dados hidrológicos.

Referências bibliográficas

- ANDRADE, I. R. A. **O uso de técnicas de sensoriamento remoto na identificação de formas na região de porto rico, planície de inundação do Alto rio Paraná, MS/PR.** Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós Graduação em Geografia. Universidade Estadual de Maringá. Maringá, PR, 2008.
- CAMPOS, J. B.; SOUZA, M. C. Vegetação. In: Vazzoler, A. E. A. M., Agostinho, A. A.; Hahn, N.S. (Org.). **A planície de inundação do alto rio Paraná.** 1 ed. Maringá: EDUEM, 1997, v. 1, p. 331- 342.

- COMUNELLO, E.; SOUZA FILHO, E. E.; ROCHA, P. C.; NANINI, **Dinâmica de inundação de áreas sazonalmente alagáveis na planície aluvial do Alto Rio Paraná: estudo preliminar.** ANAIS do XI Congresso Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p 2459-2466, 2003.
- CORRADINI, F. A.; FACHINI, M. P.; STEVAUX, J. C. **Controle geomorfológico da distribuição da vegetação ripária do rio Paraná: parte I – unidades geomórficas da planície de inundação.** Revista UnG – Geociências v. 5. N. 1, 2006.
- COUTO, E. V.; SOUZA FILHO, E. E.; HAYAKAWA, E. H. **Análise das modificações da cobertura vegetal da planície fluvial do alto rio Paraná no período entre 1976 e 2007.** Acta Scientiarum. Technology (Online), v. 33, p. 205-213, 2011.
- COUTO, E.V.; HAYAKAWA, E. H.; SOUZA FILHO, E. E. **Diagnóstico dos efeitos causados pelas cheias excepcionais de 1982/1983 sobre a planície inundacional do Alto rio Paraná (PR-MS).** Revista de Geografia, Meio Ambiente e Ensino GEOMAE, v. 1, p. 83-99, 2010.
- DAI, X.; KHORRAM, S. **The effects of image misregistration on the accuracy of remotely sensed change detection.** IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 36, n. 5, p. 1566- 1577, 1998.
- HAYAKAWA E. H.; PRADO, B. R.; TAVARES Jr, J. B.; SOUZA FILHO, E. E.; COUTO, E. V. **Avaliação multitemporal da planície de inundação do Alto Rio Paraná (região de Porto Rico – PR) através de classificação supervisionada e não supervisionada de imagens Landsat-5/TM.** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5865-5872.
- HAYAKAWA, E. H. **Análise da variabilidade espacial e temporal dos sedimentos suspensos do Alto rio Paraná via imagens orbitais: região de porto São José.** Maringá, 2007. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.
- JORCIN, A.; NOGUEIRA, M. G.; BELMONT, R. **Spatial and temporal distribution of the zoobenthos community during the filling up period of Porto Primavera Reservoir (Paraná River, Brazil).** Braz. J. Biol. V.69, p. 19-29, 2009.
- ROCHA, P. C. **Dinâmica dos Canais no Sistema Rio-Planície Fluvial do Alto Rio Paraná, nas proximidades de Porto Rico.** Tese (Doutorado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais) – Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura, Universidade Estadual de Maringá. Maringá, PR, 2002.
- RSI. **Environment for Visualizing Images - ENVI.** v. 4.5. Boulder, CO, USA: ITT Industries. 2008.
- SAMIZAVA, T. M. **SIG e sensoriamento remoto aplicado ao estudo dos processos de inundação e mapeamento da cobertura vegetal na planície fluvial do alto Rio Paraná.** 2009. 172 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.
- SAMIZAVA, T. M.; IMAI, N. N.; ROCHA, P. C.; WATANABE, F. Y. S. **Detecção de Alterações na Distribuição da Cobertura Vegetal Entre 1975 e 2007 na Planície de Inundação do Alto Curso rio Paraná Centro Sul do Brasil.** In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2009, Natal. Anais do XIV SBSR. São José dos Campos: INPE, 2009. v. único. p. 6157-6164.
- SERAFIM, M. Jr; BONECKER, C. C.; ROSSA, D. C.; LANSAC-TÔHA, F. A.; COSTA, C. L. **Rotifers of the upper Paraná River floodplain: additions to the checklist.** Braz. J. Biol. V.63, p. 207-212, 2003.
- SOUZA FILHO, E. E. **As transformações da calha fluvial do Alto rio Paraná induzidas por barragens.** In: Messias Modesto dos Passos. (Org.). A raia divisória São Paulo - Paraná - Matogrosso do Sul (cenas e cenários). 1 ed. São Paulo: Expressão Popular, v. 1, p. 167-195, 2011.
- SOUZA FILHO, E. E. **Aspectos da geologia e estratigrafia dos depósitos sedimentares do rio Paraná entre Porto Primavera (MS) e Guaíra (PR).** Inst. Geoc., USP, tese de doutorado, São Paulo, SP, 214 p, 1993.
- SOUZA FILHO, E. E. **Diagnóstico do meio físico e condições emergentes da planície do rio Paraná em Porto Rico (PR).** GEONOTAS, DGE/UEM, 1999.
- SOUZA FILHO, E. E. **Evaluation of the Parana River discharge control on Porto São José Fluviometric Station (State Of Parana - Brazil).** Brazilian Journal of Biology, 69 (2, Suppl.): 631-637, 2009.
- SOUZA FILHO, E. E. **Feições do sistema anastomosado pré atual do rio Paraná.** XXXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, Anais, Camburiú, v.2: 407-409, 1994.
- 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: VII Simp. Brasil. de Geogr. Fís. Aplic. Anais. Belo Horizonte – MG, 1999.
- SOUZA FILHO, E. E.; STEVAUX, J. C. **Geology and geomorphology of the Baía-Curutuba-Ivinheima River Complex.** In: Sidney Magela Thomaz; Ângelo Agostinho; Norma Segati Hahn. (Org.). The Upper Parana River and its floodplain: Physical aspects, Ecology and Conservation. 1 ed. Leiden: Backhuys Plubshers, v. 1, p. 1-29, 2004.
- SULSOFT. **ENVI: curso avançado (Manual do Curso de Envi 4.6).** Sulsoft, 2009.
- WATANABE, F. Y. S.; IMAI, N. N.; SAMIZAVA, T. M.; ROCHA, P. C. **Classificação da Vegetação de Áreas Úmidas Baseada em Redes Neurais Artificiais: Estudo de Caso da Planície Fluvial do Alto Rio Paraná.** In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal. Anais do XIV SBSR. São José dos Campos: INPE, v. único. p. 5515-5522, 2009.