

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

Ericson Hideki Hayakawa¹
Bruno Rodrigues do Prado¹
João Batista Tavares Júnior²
Edvard Elias de Souza Filho³
Edivando Vitor do Couto³

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
ericson@dsr.inpe.br, prado@dsr.inpe.br

²Universidade Federal do Paraná – UFPR
Caixa Postal 19.001 - 81.531-990 - Curitiba - PR, Brasil
joaotavaresjunior@yahoo.com.br

³Universidade Estadual de Maringá
Departamento de Geografia - 87020-900 – Maringá – PR, Brasil
edvardmarilia@wnet.com.br, edivandovitorh@hotmail.com

Abstract: This work contemplates multitemporal analysis of Paraná river floodplain (Porto Rico – PR region) through the mapping of land cover and land use. MAXVER (supervised) and ISOSEG (unsupervised) classification had been used in scenes Landsat-5/TM of three different dates 14/03/1987, 09/10/1999 and 22/04/2007. The methodology consisted in: a) geometric correction, b) image segmentation, c) classifications procedure and, d) Kappa (K) Index and TAU coefficient of agreement verify. Both classifications had similar performance, but the MAXVER was more efficient to general classification and the ISOSEG was more efficient to wetland classification. Human occupation in Paraná river floodplain increased the bare soil area between 1987 and 199. The bare soil area present in april of 2007 scene show the effects of january and february flood at the Paraná river floodplain. The long time flood affect the floodplains vegetation, especially non arboreal vegetation. Nowadays, vegetation restricts to small forests fragments in areas like natural levee, close to the principal channel, or located in some islands. Herbaceous vegetation and wet vegetation are dominant in the floodplain.

Keywords: MAXVER classification, ISOSEG classification, floodplain, Paraná river, land cover, classificação MAXVER, classificacao ISOSEG, planície de inundação, rio Paraná, cobertura do solo

1. Introdução

Com largura de até 20 km e extensão original de aproximadamente 480 km, a planície de inundação do Alto Rio Paraná atualmente resume-se a uma extensão de menos de 230 km, correspondente ao trecho entre a jusante da barragem da Usina Hidrelétrica (UHE) Engenheiro Sérgio Mota (comumente conhecida como barragem de Porto Primavera) até o remanso do reservatório da UHE de Itaipu, conforme Comunello (2001).

Ambiente único referente aos seus processos e estruturas, a planície de inundação é dotada de uma série de ecossistemas cujos protagonistas (canais principais e secundários, vegetação, lagoas, ilhas, alagados, áreas de transição terrestre aquático, dentre outros) são essenciais ao processo sucessional e a perpetuação da biota existente (Comunello, 2001). Entretanto, com a construção do reservatório de Porto Primavera houve significativas alterações no regime hidrológico que conseqüentemente modificaram toda a dinâmica presente neste ecossistema, cujos impactos são muitas vezes desconhecidos.

Uma das formas de analisar possíveis alterações na dinâmica e nos processos que ocorreram na planície de inundação do Alto Rio Paraná é através de análise multitemporal. A

análise de variáveis como vegetação, geomorfologia e uso do solo em escala temporal pode fornecer subsídios sobre o dinamismo da planície fluvial.

Atualmente, com a disponibilidade de imagens de sensores remotos orbitais e os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), têm-se importantes ferramentas para análises desse cunho. Com isso, o objetivo deste trabalho é gerar representações de uso e cobertura do solo de diferentes anos a partir de técnicas de classificação supervisionada (MAXVER) e não supervisionada (ISOSEG) visando avaliar as possíveis alterações na planície de inundação do Alto rio Paraná.

1.1. Área do estudo

A área do estudo compreende o segmento da planície de inundação que se estende desde as proximidades do rio Ivinheima até a barragem da UHE de Porto Primavera, na parte sudeste dos estados do Mato Grosso do Sul e próximo da porção noroeste do Estado do Paraná (Figura 1). Este segmento é um dos poucos trechos em que o Alto Rio Paraná ainda corre livre, o que possibilita a observação de extensos depósitos sob a forma de ilhas, barras, planícies de inundação e terraços que não foram perdidos com as barragens (Souza Filho, 1993).

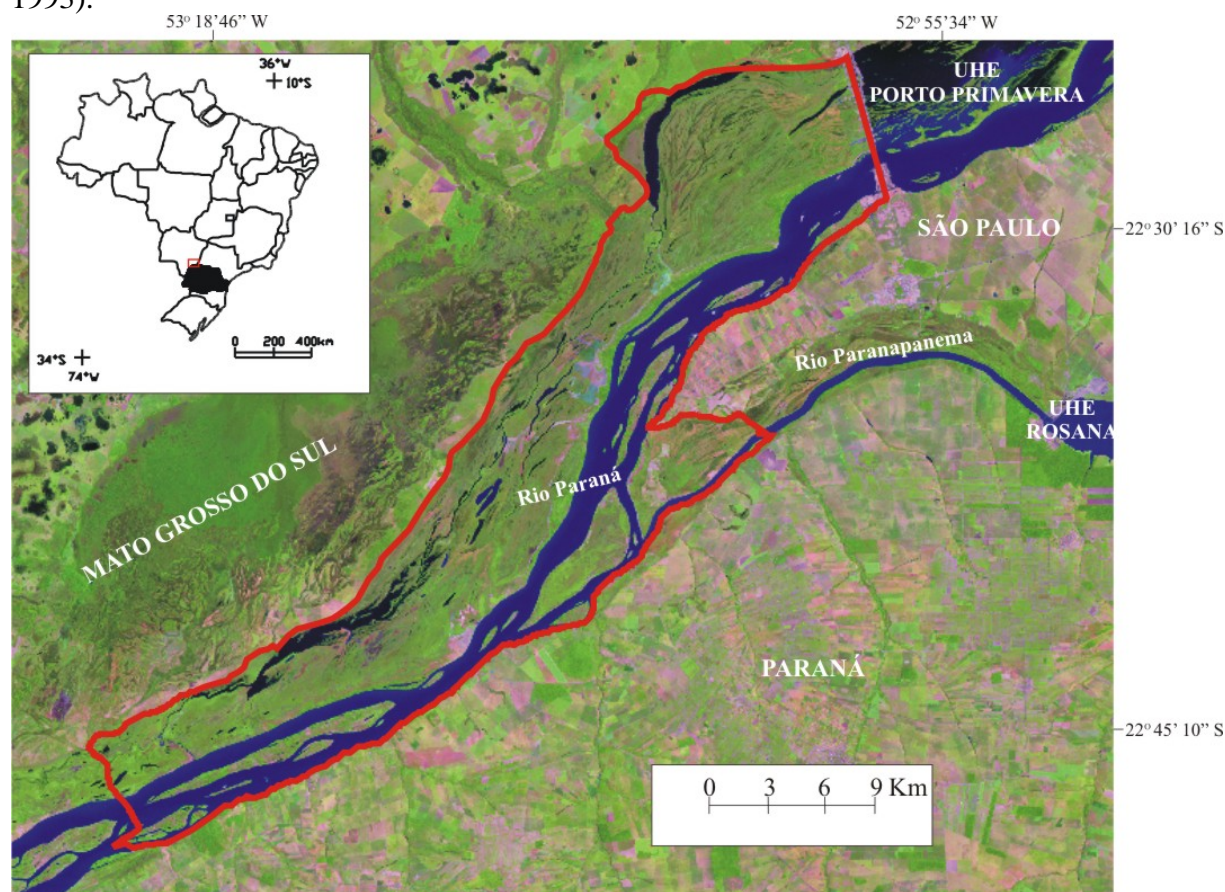


Figura 1: Localização da área do estudo. Em destaque, a planície de inundação do Alto Rio Paraná. (Cena Landsat-5/TM de 14/03/1987, composição 5R 4G 3B).

O substrato do canal do Rio Paraná na área do estudo é formado por arenitos da Formação Caiuá e por depósitos antigos do próprio rio, parcialmente cimentados por hidróxido de ferro (Souza Filho, 1993). A planície é formada por uma sucessão de depósitos originados por diferentes estilos fluviais, que deixaram um registro de cascalho e areia na base (entrelaçado seixoso), areia na parte média (entrelaçado arenoso) e extensas camadas argilosas intercaladas por lentes de areia no topo (anastomosado).

As feições superficiais ainda registram formas do antigo sistema anastomosado (Souza Filho, 1994) tais como canais ativos, subativos e abandonados ladeados por diques marginais contínuos, e separados por extensas áreas de bacias de inundação, além de resquícios de leques de rompimento de dique marginal. Em meio a essas feições podem ocorrer formas relíctas das antigas barras fluviais do sistema entrelaçado arenoso anteriormente atuante (zona de paleo-barras).

Por fim, a vegetação da área apresenta-se significativamente alterada devido às inúmeras ações antrópicas. Hoje, restringe-se a pequenos fragmentos de floresta nas áreas próximas ao leito do canal e no conjunto de ilhas (Campos e Souza, 1997), principalmente nas áreas mais altas formadas pelos diques marginais. Nas áreas mais baixas é possível encontrar grandes áreas de vegetação herbácea e de vegetação higrófila.

2. Materiais e métodos

2.1. Materiais

Este trabalho utilizou imagens Landsat-5/TM de 14/03/1987, 09/10/1999 e 22/04/2007 (órbita/ponto 223/76). A primeira foi obtida da Universidade de Maryland (disponível no site: <http://glof.umiacs.umd.edu/index.shtml>) e as duas últimas datas foram obtidas no catálogo de imagens do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Os softwares utilizados para o processamento das imagens foram SPRING 4.3.3 e ENVI 4.2. Para a análise estatística das classificações geradas, utilizou-se a planilha Microsoft Excel.

2.2. Procedimentos metodológicos

O trabalho contou com o cumprimento de etapas como: a) georreferenciamento das imagens de 09/10/1999 e 22/04/2007 com base na imagem de 1987, a qual é ortoretificada, b) segmentação das imagens, c) classificação supervisionada e não supervisionada das imagens de cada ano e, d) avaliação do índice *Kappa* e *Tau* para verificar o grau de concordância da classificação.

A etapa de segmentação foi efetuada como pré-requisito para a classificação não-supervisionada. Com base no método de crescimento de regiões e, através da realização de testes para definir os limiares de similaridade e área (*pixels*), foram adotados respectivamente o valor 6 e o valor 11. O baixo valor de similaridade implicou em um grande número de classes, que no caso, foi fundamental para a correta identificação das nuances da área. Quanto ao pequeno valor da área em *pixels* (11), este se traduz na capacidade de distinguir elementos da planície de inundação que possuem pequena extensão, neste caso, superfícies com mais de um hectare.

Referindo-se ao procedimento de classificação, os algoritmos utilizados foram:

- **ISOSEG**: trata-se de um algoritmo de agrupamento de dados não-supervisionados aplicado sobre o conjunto de regiões, que por sua vez foram caracterizadas por atributos estatísticos de média, matriz de covariância e também pela área na fase de extração de regiões (Moreira, 2003). É comumente utilizado para classificar regiões de uma imagem segmentada.

- **MAXVER** (Máxima Verossimilhança): trata-se de um método de classificação supervisionado baseado na estimação do vetor médio da matriz de variância e covariância de cada classe, assumindo-se que a frequência de cada classe possui uma distribuição normal (Mather, 1999). Nesse método, a fase de treinamento é essencial para fornecer um conjunto de *pixels* representativos de cada alvo na superfície, assim, é fundamental que os *pixels* escolhidos sejam puros e representem cada classe espectral (Moreira, 2003).

Com a definição dos algoritmos de classificação e limiar de aceitação de 99,9%, definiram-se as seguintes classes temáticas para iniciar o mapeamento temático da planície de inundação:

- **Vegetação arbórea:** vegetação de maior estatura encontrada principalmente nas regiões mais altas das planícies e nos diques marginais.
- **Vegetação arbustiva e gramíneas:** compreende a vegetação predominante na planície de inundação. Apresenta-se dispersa e com baixa estatura
- **Vegetação de áreas úmidas:** vegetação predominante nas áreas mais baixas e com ampla umidade na maior parte do tempo.
- **Rios, lagoas e ressacos:** áreas do canal fluvial e lagoas.
- **Solo nu:** áreas com solo exposto devido à ação antrópica ou por fatores naturais.

Para melhorar a concordância do classificador MAXVER, na fase de treinamento criaram-se subclasses de uma mesma classe para distinguir pequenas variações de repostas espectrais. Dessa forma, a classe solo, por exemplo, foi dividida em subclasses (solo 1, 2 e 3) para facilitar o agrupamento dos solos da área de estudo, os quais apresentavam variações espectrais perceptíveis visualmente na imagem.

A etapa seguinte foi a elaboração de índices (*Kappa* e *Tau*) para verificar a concordância da classificação. Para isto, foram escolhidos cinquenta pontos aleatórios na área de estudo, que foram dispostos em uma matriz de erros para confrontar a realidade de campo com a classificação obtida. Além do índice *Kappa* e *Tau*, avaliaram-se outros indicadores como: desempenho da classificação para cada uma das classes, erros de inclusão, erros de omissão e acurácia global para a classificação.

O índice *Kappa* fundamenta-se em critérios da análise multivariada discreta e na medida de concordância entre a classificação obtida e a referência (dados de campo) adotada para a estimativa da exatidão (Ponzoni e Almeida,1996). Como não houve coleta de campo, a geração da matriz de confusão fundamentou-se na identificação de pontos assumidos como verdade de campo a partir de interpretação visual. Para auxiliar na análise das classificações utiliza-se o índice *Kappa*, com os limiares estabelecidos por Landis e Koch (1977), conforme Tabela 1.

Tabela 1. Limiares do índice Kappa utilizados

Índice Kappa	Concordância
0,00	Péssima
0,01 a 0,20	Ruim
0,21 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Boa
0,61 a 0,80	Muito Boa
0,81 a 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977, p. 165).

Similar ao índice *Kappa* (Naesset, 1996), o índice *Tau* em alguns casos apresentou melhor desempenho para avaliar a concordância da classificação. Sumariamente, o coeficiente de concordância *Tau* é obtido a partir da matriz de erros. Trata-se de uma técnica discreta multivariada que expressa a correlação entre a verdade de campo e as imagens classificadas baseadas em probabilidade, estimando-se a correlação aleatoriamente.

3. Resultados e discussão

Os valores dos índices de concordância *Kappa* e *Tau* obtidos para as imagens Landsat-5/TM de 14/03/1987, 09/10/1999 e 22/04/2007 encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Valores dos índices de concordância *Kappa* e *Tau*

Ano\Índice	Classificadores			
	ISOSEG		MAXVER	
	Kappa	Tau	Kappa	Tau
1987	0.71	0.72	0.70	0.72
1999	0.71	0.72	0.66	0.67
2007	0.78	0.80	0.84	0.87

Os resultados demonstram que os classificadores tiveram desempenho semelhante em ambos indicadores. A partir da Tabela 1 que classifica a concordância da classificação segundo os parâmetros de Landis e Koch (1977), observou-se que os algoritmos MAXVER e ISOSEG geraram classificações que variam das categorias de Muito Boa a Excelente.

O desempenho semelhante entre os classificadores deve-se ao fato de que os limiares estabelecidos para o algoritmo ISOSEG foram precisos na segmentação, facilitando assim a classificação. Tal procedimento funciona como uma seleção de inúmeras amostras de treinamento aonde o usuário vai definindo a qual classe pertence. Já o algoritmo MAXVER permitiu uma boa concordância na classificação devido à obtenção de no mínimo 30 amostras de treinamento para cada classe (e subclasses). Este procedimento minimiza os erros e consequentemente, melhor representa a realidade. As estimativas de concordância da classificação, de erros de inclusão, de omissão, e de concordância geral encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros estatísticos obtidos a partir das classificações ISOSEG e MAXVER (E.I. = erros de inclusão; E.O. = erros de omissão)

Classes	ISOSEG 1987			ISOSEG 1999			ISOSEG 2007		
	Concordância	E.I.	E.O.	Concordância	E.I.	E.O.	Concordância	E.I.	E.O.
Veg_ arbórea	1	0	0,25	1	0	0,66	0,47	0,5	0
Veg_ arbust	0,58	0,3	0,22	0,39	0,5	0,15	0,47	0,5	0,14
Veg_ área_ úmida	0,43	0,5	0,16	0,87	0,1	0	0,81	0,2	0,16
Solo nu	1	0	0,33	0,85	0,1	0,43	1	0	0,24
Rios_ lagoas	0,87	0,1	0,1	1	0	0	1	0	0
Acurácia global	0,78			0,78			0,84		

Classes	MAXVER 1987			MAXVER 1999			MAXVER 2007		
	Concordância	E.I.	E.O.	Concordância	E.I.	E.O.	Concordância	E.I.	E.O.
Veg_ arbórea	1	0	0,75	0,46	0,5	0,33	1	0	0,5
Veg_ arbust	0,62	0,2	0,11	0,5	0,4	0,07	0,74	0,2	0
Veg_ área_ úmida	0,43	0,5	0,16	0,51	0,4	0,33	1	0	0,33
Solo nu	1	0	0,33	1	0	0,43	0,77	0,1	0,04
Rios_ lagoas	0,87	0,1	0,1	1	0	0,11	1	0,1	0,1
Acurácia global	0,78			0,74			0,9		

As estimativas apresentadas na Tabela 3 indicam que:

1) para a classificação da vegetação arbórea, o classificador MAXVER obteve o índice máximo de concordância em duas datas, o mesmo ocorrendo com o ISOSEG para esta classe. Os erros de inclusão seguiram o mesmo padrão, mas o ISOSEG apresentou menores erros de omissão;

2) para a classificação da vegetação arbustiva, o classificador MAXVER apresentou melhores resultados, com concordância muito boa;

3) para a classificação da vegetação de áreas úmidas o classificador ISOSEG apresentou os melhores resultados, também com concordância muito boa;

4) para a classificação de solo exposto, o classificador ISOSEG apresentou melhor concordância (excelente), mas o MAXVER obteve menor índice de erros de omissão;

5) para a classificação de corpos de água, ambos os classificadores apresentaram concordância semelhante (excelente), mas o ISOSEG obteve menores índices de erros de inclusão e de omissão.

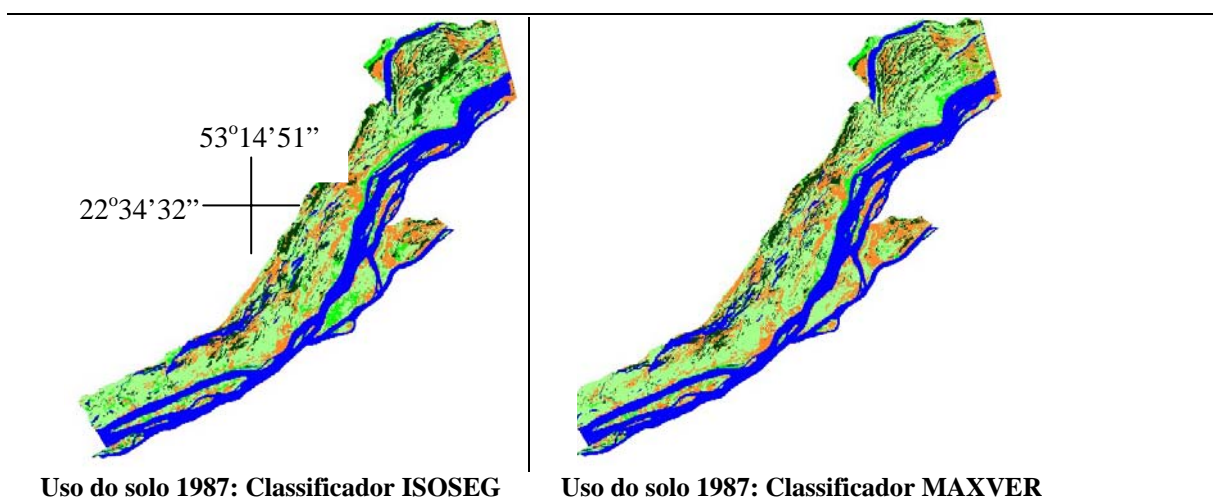
6) para o conjunto, o classificador MAXVER obteve maior concordância (muito boa) e menor índice de erro de inclusão, mas o ISOSEG obteve menor índice de erro de omissão.

Os valores obtidos mostram que os resultados de ambos os classificadores são muito semelhantes. A equivalência entre os resultados obtidos está expressa na semelhança entre os produtos obtidos, conforme pode ser verificado na Figura 2. A análise da figura demonstra que a partir de 1987 a planície de inundação já apresenta escassa vegetação, e que a área de solo exposto tornou-se maior ao longo do tempo.

Os dados históricos demonstram que a ocupação da planície foi iniciada na década de 1950, e que a retirada da vegetação aumentou até pelo menos 1996 (Souza Filho e Corrêa, 1999). Tal fato é atribuído ao processo de colonização da área e o que existe atualmente representa apenas pequenos vestígios da vegetação pretérita que sobreviveu a fatores como incêndios, coleta de espécies para comercialização, corte de madeira, construção de residências, impacto devido à construção de barragens, agropecuária dentre outros (Campos e Souza, 1997).

Contudo, na década de 1990 a área do estudo foi incluída dentro do Parque Nacional do Ivinheima e, dessa forma, a retirada da vegetação deveria ter cessado. Assim, a imagem de 2007 deveria expor uma menor área de solo exposto, fato que não ocorre. Entretanto, nesse caso, a maior área de solo exposto não representa a ocupação da planície, mas sim, a ação de uma cheia induzida pela operação do reservatório de Porto Primavera.

Os meses de janeiro e fevereiro de 2007 foram marcados pela maior e mais prolongada cheia registrada desde a década de 1980 (Souza Filho, comunicação pessoal). Em janeiro de 2007 o nível do rio subiu mais de 3,5 metros acima do valor médio verificado na Estação Fluviométrica de Porto Rico-PR, e assim permaneceu até o dia 5 de março, mantendo toda a planície abaixo d'água por um longo período. Possivelmente, a vegetação arbustiva, as gramíneas e a vegetação higrófila foram afetadas por esse evento, e após as águas baixarem, o solo manteve-se exposto até pelo menos o mês de abril de 2007.



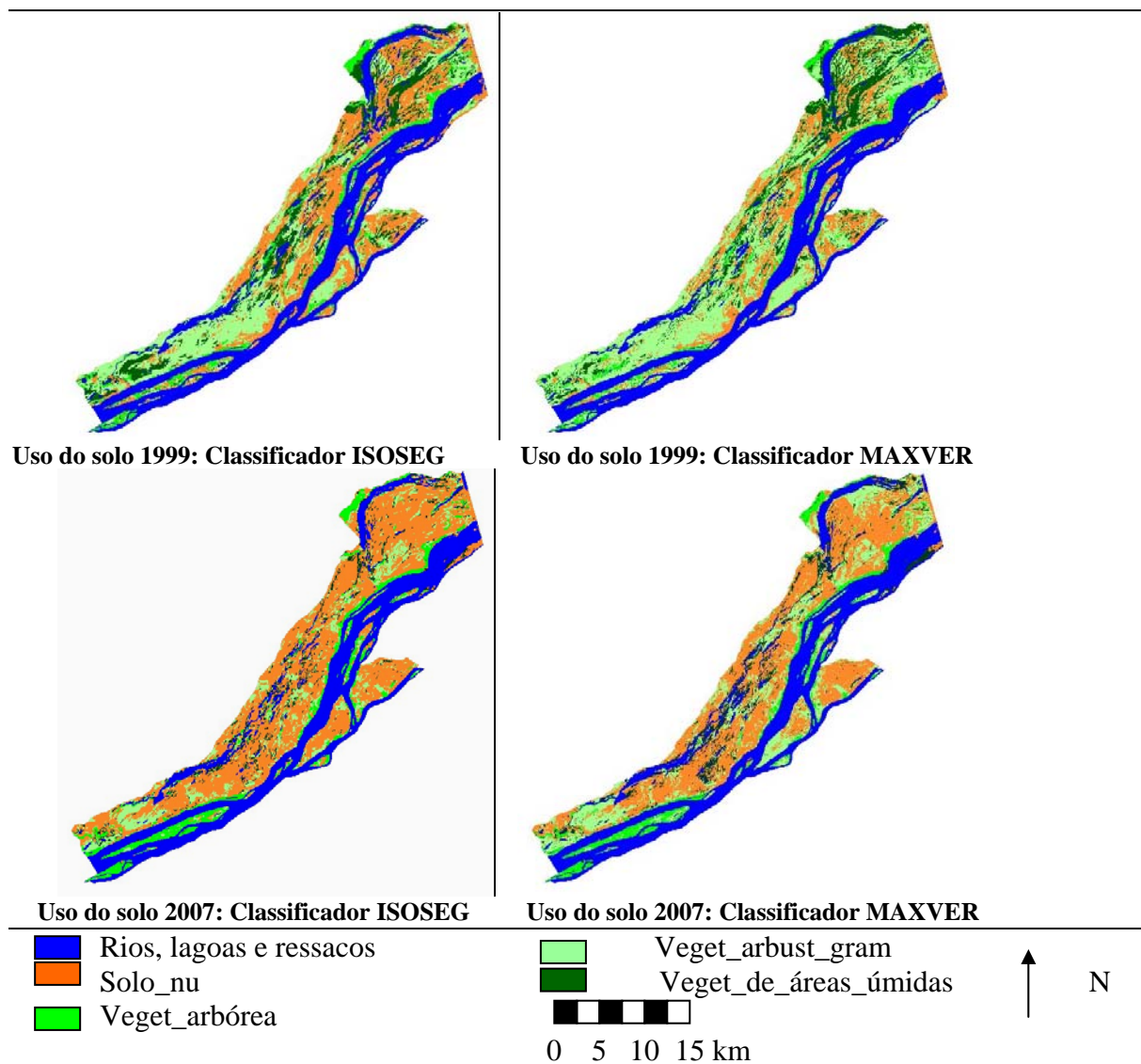


Figura 2: resultados da classificação segundo os algoritmos ISOSEG e MAXVER.

Dessa forma, a área de solo exposto da imagem de 2007 representa a área afetada pela cheia, e não pode ser confundida com áreas de ocupação antrópica. Considerando que a área exposta na imagem de 2007 representa a área em que a vegetação foi afetada pelo encharcamento ou pela inundação, com a “descida” das águas houve a recuperação da vegetação. Tal fato foi observado por Couto (2008). Entre as diversas imagens classificadas pelo referido autor, a cena de 14 de julho de 2007 mostra considerável redução da área de solo exposto e o aumento das diversas formas de cobertura vegetal, principalmente as arbustivas e gramíneas, quando comparada com cenas de meses anteriores, como as de março e abril daquele ano.

4. Conclusões

Os resultados demonstraram que os dois classificadores testados apresentaram desempenho semelhante para a classificação de todas as datas (14/03/1987, 09/10/1999 e 22/04/2007). As imagens de 1987 e de 1999 confirmam a tendência de aumento da retirada de vegetação identificada por Souza Filho e Corrêa (1999), e a imagem de abril de 2007 mostra que uma cheia prolongada pode ter um profundo efeito sobre a vegetação da planície, afetando principalmente a vegetação de menor porte.

Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão de bolsa de doutorado a Ericson Hideki Hayakawa e iniciação científica a Edivando Vitor do Couto. Bruno Rodrigues do Prado e João Batista Tavares Júnior agradecem a CAPES pela concessão de bolsa de mestrado e doutorado respectivamente. Os autores também agradecem as correções e sugestões de Vagner Azarias Martins.

Referências Bibliográficas

Campos, J.B.; Souza, M.C. Vegetação. In: Vazzoler, A. E. A. de M; Agostinho, A. A; Hahn, N. S. (Orgs.). **A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos**. Maringá: EDUEM, 1997. p. 331-342.

Comunello, E. **Dinâmica de inundação de áreas sazonalmente alagáveis na planície aluvial do alto Rio Paraná**. 2001. 40 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ambientais Aquáticos Continentais)-Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2001.

Couto, E. V. **Análise multitemporal da cobertura vegetal da planície aluvial do Alto rio Paraná (PR-MS)**. Relatório de Iniciação Científica, UEM, Maringá 22 pp.

Landis, J.R.; Kock, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

Mather, P.M. **Computer processing of remotely-sensed images**. 2. ed. Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 1999.

Moreira, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2003.

Naesset, E. Conditional tau coefficient for assessment of producer's accuracy of classified remotely sensed data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 51, n. 2, p. 91-98, 1996.

Ponzoni, F. J.; Almeida, E. S. A estimativa do parâmetro Kappa (k) da análise multivariada discreta no contexto de um SIG. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8, 1996, Salvador, Brasil. **Anais...**São José dos Campos, INPE, 1996. p. 729-733.

Souza Filho, E. E. de. **Aspectos da geologia e estratigrafia dos depósitos sedimentares do rio Paraná entre Porto Primavera (MS) e Guaíra (PR)**. 1993. 214 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

Souza Filho, E.E. Feições do sistema anastomosado pré atual do rio Paraná. In. Congresso Brasileiro de Geologia, 38, 1994, Camboriú, Brasil, **Anais...**Camboriú, 1994. v.2, p. 407-409.

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, Brasil. **Anais...**Belo Horizonte, 1999, v. 1, p. 159-160.

SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M., GARRIDO, J. **Computers & Graphics**, 20 (3) 395-403, May-Jun 1996.