

Identificação de compartimentos aquáticos com imagens CBERS-2 CCD, Landsat TM5 e dados de campo no reservatório Rodolfo Costa e Silva-RS

Flávio Wachholz¹
Fábio Marcelo Breunig²
Leila M. G. Fonseca²
Sérgio Celestino de Bona Sartor¹
Waterloo Pereira Filho¹

¹ Departamento de Geociências - Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
LabGeoTec , Prédio 17, 97105-970 – Geociências – UFSM – Santa Maria, RS, Brasil
fwalemao@gmail.com; sbsartor@terra.com.br; waterloopf@gmail.com

² SERE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
breunig@dsr.inpe.br ; leila@dpi.inpe.br

Abstract. The use of remote sensing to assess reservoirs water features can greatly contribute to the knowledge of water behavior. In this paper is studied the potentiality of Landsat TM5 and CBERS-2 CCD images to identify water compartments and to produce land use maps in the Rodolfo Costa e Silva reservoir Basin, in the South of Brazil. We have used NDWI, principal components and classification techniques to assist the water body study. The NDWI method makes possible to identify the reservoir boundaries. Multitemporal images of CBERS-2 CCD and Landsat TM5 were used in the experiments but just one CBERS-2 CCD image identifies the reservoir compartments. The land use map showed the bare soil amount is directly related to the high TSS concentrations in the compartments. Therefore, the results pointed out the CCD and TM images are not satisfactory to assess reservoirs information because of their low spectral and radiometric resolutions.

Palavras-chave: Principal component, NDWI, segmentation, Componentes principais, NDWI, segmentação.

1. Introdução

A principal dificuldade em estudar a variabilidade espacial e espectral da água com imagens orbitais está relacionada à sua baixa refletância (Carder et al, 1986; Kirk, 1994; Nellis, 1998; Dekker, 2001). Assim, sensores multiespectrais como Landsat TM5 e CBERS-2 CCD mesmo tendo bandas posicionadas na faixa do visível e infravermelho próximo, apresentam níveis de quantização e resolução espectral insuficientes para detectar pequenas variações em um corpo d'água.

As bandas posicionadas na faixa do visível possuem correlações significativas e, com o uso da técnica de Componentes Principais (CP), essas bandas são descorrelacionadas, facilitando a extração de informações. A primeira componente principal (PCP) gerada contém a maior parte das informações presentes nas bandas originais (maior contraste), o que permite o realce das informações de interesse (Richards, 1993; Chaves e Mac Kinnon, 1994).

Lira et al (1997) utilizou a técnica de CP para estabelecer classes com diferentes níveis de TSS no rio Pánuco (Golfo do México) no estudo da variação do TSS (Total de Sólidos em Suspensão) em imagens Landsat TM5. Cabral (2003) identificou uma correlação significativa entre as CP das bandas na faixa do visível do sensor Landsat TM5 e os dados de TSS do reservatório de Barra Bonita - SP. Da mesma forma, Braga (1999) obteve uma correlação significativa entre as CP de imagens Landsat TM5 da Lagoa de Araruama - RJ e os dados de transparência do disco de Secchi e clorofila-*a*.

Devido à variação temporal da superfície aquática, é necessário utilizar técnicas que permitam identificar as áreas com pixels puros em imagens de satélite. Uma técnica utilizada

para a delimitação de corpos aquáticos é o NDWI (Índice de Diferença Normalizada da Água) (McFeeters, 1996; Xu, 2006; Ouma e Tateishi, 2006).

Dentro deste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar o uso dos sensores orbitais CBERS-2 CCD e Landsat TM5 na compartimentação aquática e identificar suas relações com os dados limnológicos coletados em campo e com o uso da terra no entorno do reservatório.

2. Metodologia

O estudo foi conduzido no Reservatório Rodolfo Costa e Silva, no município de Itaara, RS, abrangendo uma série temporal de novembro de 2005 até abril de 2006. Esta série compreende um ciclo da cultura da soja, tipo de uso da terra comum na região. O reservatório apresenta diferenças sutis nos componentes opticamente ativos (p.ex. fitoplâncton, TSS, matéria orgânica) no contexto espacial, o que dificulta a diferenciação de massas d'água em imagens orbitais multiespectrais.

Foram considerados dados de campo referentes ao TSS, transparência da água medida com Disco de Secchi (DS) e a clorofila-*a* (Chl), coletados no reservatório Rodolfo Costa e Silva. As imagens utilizadas foram as do sensor Landsat TM5 CBERS-2 CCD. As datas das coletas em campo e de obtenção das imagens podem ser vistas na **Tabela 01**.

Tabela 1 – Datas de obtenção das imagens de satélite e dados de campo.

Imagens CCD-CBERS-2	Imagens TM	Dados de campo
11/12/2005	26/11/2005	18/11/2005
01/02/2006	29/01/2006	01/02/2006
20/04/2006	19/04/2006	20/04/2006

As imagens foram registradas a partir da base *geocover* (NASA, 2006). Tendo as imagens registradas, o divisor de água da microbacia que envolve o reservatório foi delimitado.

As imagens TM foram restauradas (Fonseca et al., 1993) em uma grade de 20 metros para ficarem no mesmo nível de referência em termos de resolução espacial das imagens CBERS-2 CCD. No próximo passo, os valores de NDWI foram calculados para as imagens CCD e TM, segundo as **Equações 1 e 2** (McFeeters, 1996):

$$\text{CBERS-2 CCD} \quad NDWI_1 = \frac{Green(CCD2) - NIR(CCD4)}{Green(CCD2) + NIR(CCD4)} \quad (1)$$

$$\text{Landsat TM5} \quad NDWI_2 = \frac{Green(TM 2) - MIR(TM 5)}{Green(TM 2) + MIR(TM 5)} \quad (2)$$

Como a banda TM 4 apresentou ruídos, nas datas analisadas, esta banda foi substituída pela banda TM5. Este procedimento já foi utilizado por outros autores e, portanto, não invalida a metodologia (McFeeters, 1996). Por meio das imagens NDWI, foi possível delimitar e recortar a área do reservatório para que a análise ficasse restrita a apenas ao corpo aquático. Isto permitiu eliminar a mistura de informações presente nos pixels de borda.

Para as bandas 1, 2 e 3 dos dois sensores (CCD e TM) foram calculadas as CP, das quais somente a PCP foi utilizada no processo de segmentação. Cabe mencionar que, a banda do infravermelho próximo não foi utilizada devido à presença de ruído nas imagens TM4.

A segmentação foi realizada utilizando a PCP com limiares de similaridade e de área igual a 1. Estes valores baixos de limiares se justifica pela pequena variância da PCP. Posteriormente, as imagens foram classificadas pelo método *isoseg*, implementado no SPRING (Câmara et al., 1996). Este método de classificação é baseado em regiões e usa a

distância de *Mahalanobis* na identificação das classes e agrupamento de regiões (Richards, 1993). O limiar de aceitação de 99,9 % foi usado em todos os experimentos. As imagens classificadas foram comparadas visualmente com os mapas TSS, DS, Chl e variações do uso da terra.

Para possibilitar uma análise estatística, os valores de níveis de cinza (NC) dos pixels na PCP, referentes aos pontos de coletas *in situ*, foram extraídos. Estes pontos foram localizados a partir das coordenadas obtidas por GPS. Para cada data, os seguintes coeficientes de determinação (R^2) foram calculados: (1) entre o TSS e os valores de NC nos pontos da PCP e (2) entre o parâmetro de transparência da água e os valores de NC nos pontos da PCP. Somente para a data mais recente (20/04/2006), os coeficientes de determinação (R^2) entre Chl e a PCP também foram calculados. Considerando a média das variáveis nos 6 compartimentos, ao invés dos valores nos pontos, os mesmos coeficientes de determinação (R^2) foram calculados. Para efeito de cálculo das médias foram considerados os agrupamentos dos pontos amostrais conforme ilustrado na **Figura 1**. Para a definição destes compartimentos foram respeitadas as características das sub-bacias de captação. Pode-se observar nesta figura, os 6 compartimentos aquáticos (representados por símbolos e cores diferentes), a localização do reservatório e as sub-bacias que compõem a área de captação do reservatório.

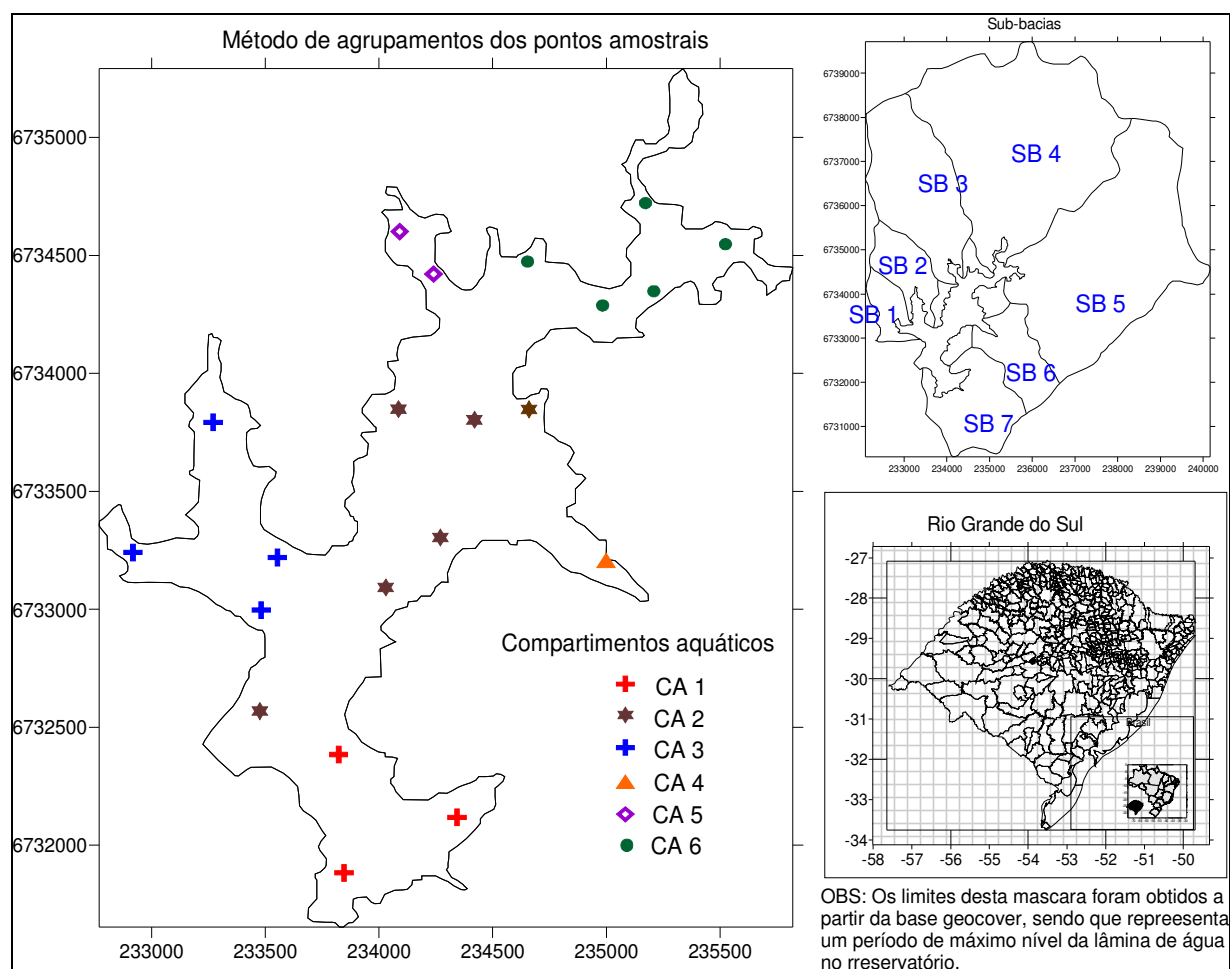


Figura 01 – Distribuição e agrupamento dos pontos amostrais, sub-bacias hidrográficas e localização do reservatório Rodolfo Costa e Silva, Itaara, RS, Brasil.

Com base no resultado da classificação dos dados CBERS (11/12/2005), um segundo agrupamento foi realizado. Quatro (4) grandes classes foram identificadas. Em cada classe foram obtidos os valores da PCP nos pontos amostrais e foram calculadas as estatísticas como

R^2 , variância, desvio padrão e média. Para outras datas, este procedimento não foi realizado tendo em vista a variância muito baixa, permitindo a discriminação de apenas uma ou duas classes de água. O agrupamento e os dados estatísticos são mostrados na **Figura 3**.

Para a classificação do uso da terra, no entorno do reservatório, foi feito o ajuste manual dos polígonos gerados pelas segmentações por crescimento de regiões das imagens TM, referentes às três datas consideradas. Neste caso, os valores de limiares de similaridade e área utilizados foram iguais a 10. A edição manual dos polígonos foi necessária devido à confusão gerada nas áreas de campo, solo recém plantado e algumas regiões de solo exposto. Após o ajuste dos polígonos, foi feita a classificação visual, considerando as seguintes classes: Solo, floresta, água, agricultura e campo, onde o critério temporal foi observado. De posse desta classificação foi gerada uma tabela com as áreas de cada classe em toda bacia e nas sub-bacias.

4. Resultados e discussões

O NDWI possibilitou maior precisão na obtenção dos limites do reservatório para as diferentes datas analisadas, conforme o exemplo (NDWI - 11/11/2005) ilustrado na **Figura 2**. A figura apresenta uma comparação entre a banda 4 do CCD e a imagem índice, e mostra a imagem com o recorte do reservatório. Verificou-se que a imagem índice apresenta maior contraste entre a água e o entorno, conforme verificado em McFeeters (1996), Xu (2006) e Ouma e Tateishi (2006).

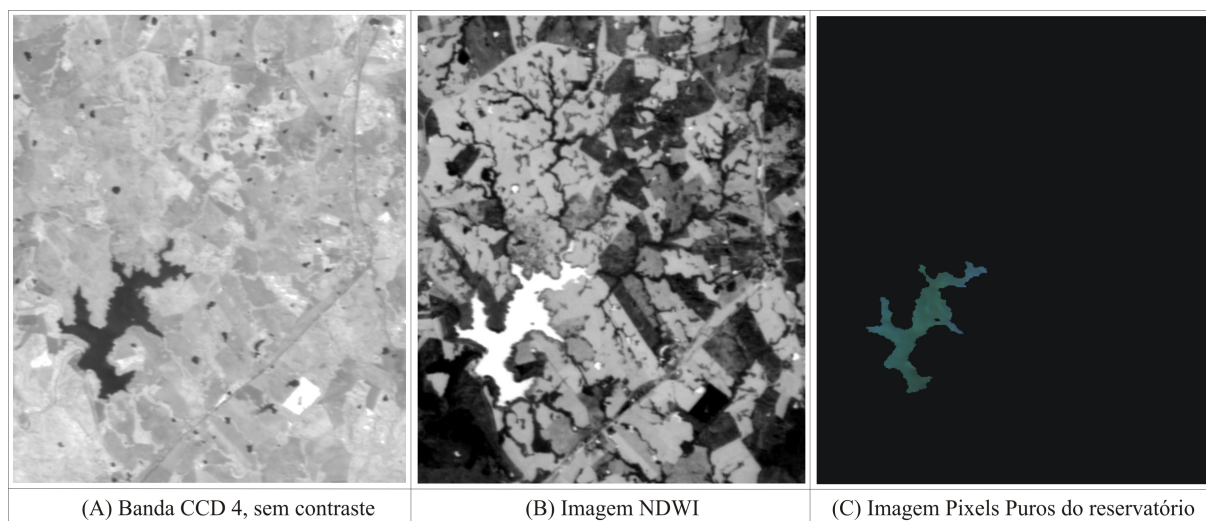


Figura 2 – Imagem NDWI para extração dos limites do reservatório obtido a partir da imagem adquirida em 11/12/2005 (CBERS).

A partir dos resultados da classificação, a imagem referente ao sensor CCD (11/12/2005), possibilitou distinguir mais que dois compartimentos dentro do reservatório. Nos demais resultados foi possível identificar apenas um ou dois setores. Isto pode ser atribuído à pequena variância da PCP nos pontos amostrais para todas as datas com exceção da 11/12/2005. Deve-se observar que os dados CBERS-2 CCD e Landsat TM5 foram adquiridos em datas diferentes, o que pode ter ocasionado variações nos dados devido às condições externas. A **Figura 3** mostra os compartimentos obtidos por meio da classificação *isoseg*, para a imagem CBERS-2 CCD (11/12/2005).

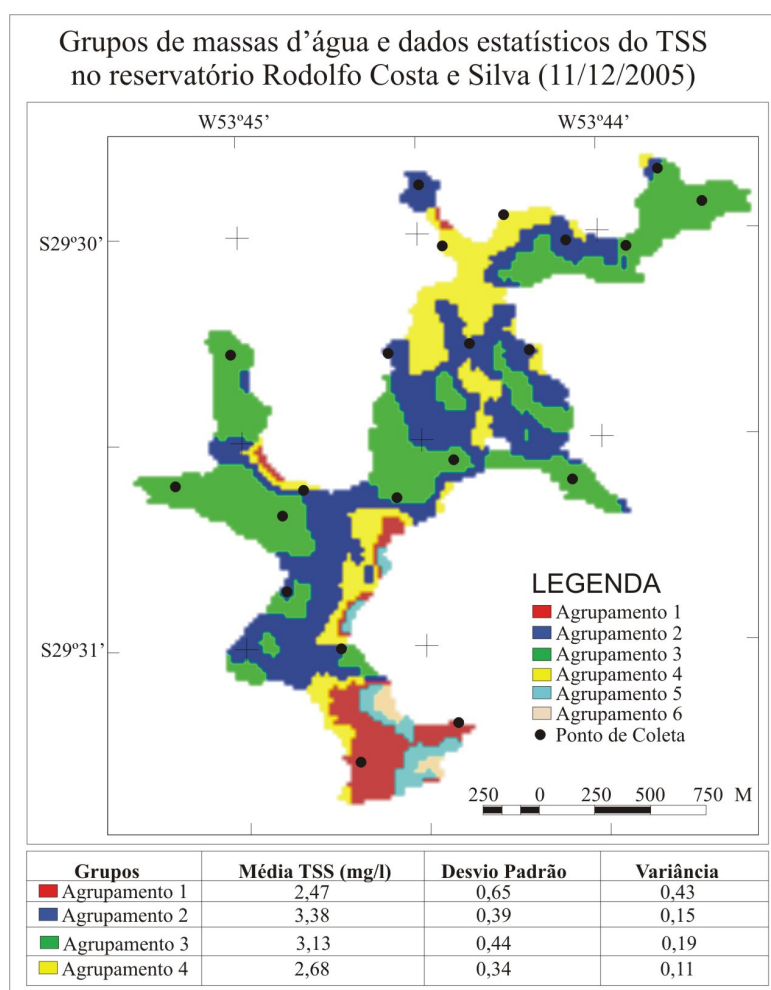


Figura 3 – Classificação da imagem da PCP da CCD do dia 11/12/2005.

A **Tabela 2** apresenta o valor de R^2 referente à CP das imagens e aos agrupamentos apresentados na **Figura 1**. Observa-se que, no geral, o ajuste não foi significativo para ambos os sensores. Estes resultados concordam com as baixas variâncias obtidas e mostram que o baixo sinal detectado pelos sensores neste corpo aquático é função das pequenas variações espaciais e quantitativas de TSS e clorofila no reservatório. A presença de alguns valores de R^2 mais elevados não indica boa concordância, visto que a amostragem foi pequena.

Tabela 2 – Relação entre variáveis limnológicas e primeira componente principal.

Data	R^2 entre as diferente variáveis					
	18/11/2005		1/2/2006		20/4/2006	
Variáveis	CP-CCD	CP-TM	CP-CCD	CP-TM	CP-CCD	CP-TM
TSS	0,23	0,05	0,22	0,36	0,12	0,01
DS	0,06	0,78	0,54	0,13	0,34	0,29
Chl					0,09	0,3

Para melhor entender as variações limnológicas no reservatório, mesmo que pequenas, foi feita uma classificação do uso da terra nas sub-bacias no entorno. As características da distribuição espacial do uso da terra, do TSS e da transparência da água são apresentadas na **Figura 4**. A maior quantidade de solo exposto no dia 26/11/05 produziu maior quantidade de TSS e menor transparência da água no reservatório, conforme **Tabela 3** e **Figura 4**.

Tabela 3 – Variações do uso do solo nas sub-bacias, onde “Fase 1” refere-se ao período de plantio, “Fase 2” refere-se ao período de máximo desenvolvimento e “Fase 3” representa o período de senescência e colheita. Valores são dados em hectares.

Uso SBs	Floresta			Campo			Solo Exposto			Água			Agricultura		
	Fase1	Fase2	Fase3	Fase1	Fase2	Fase3	Fase1	Fase2	Fase3	Fase1	Fase2	Fase3	Fase1	Fase2	Fase3
SB1	3,5	3,7	3,5	57,3	67,7	57,3	31,4	17,5	31,4	2,3	2,3	2,3	3,7	16,4	3,7
SB2	3,4	3,4	3,4	82,3	100,3	87,3	101,7	9,3	51,8	0,0	4,4	3,9	0,0	78,3	49,6
SB3	76,8	76,9	76,9	78,4	79,8	111,9	263,4	104,2	270,3	3,3	6,7	4,3	201,6	367,1	170,6
SB4	156,2	159,0	159,0	208,0	476,5	520,2	684,3	290,8	448,5	20,4	22,4	20,9	465,9	599,9	399,3
SB5	161,5	162,4	162,3	184,6	394,1	411,6	819,3	171,2	599,4	17,8	18,5	16,8	234,8	690,6	246,6
SB6	38,9	39,4	39,4	69,5	31,8	28,1	120,0	46,3	73,7	2,3	5,3	4,3	9,3	125,4	102,6
SB7	55,3	57,2	62,2	75,8	83,2	75,5	215,5	23,1	218,2	0,04	6,2	2,9	0	191,9	2,2
TOTAL	496,7	503,0	507,67	809,3	1287,0	1341,0	2275,1	659,2	1682,5	46,6	80,1	67,3	943,4	2105,1	1024,3

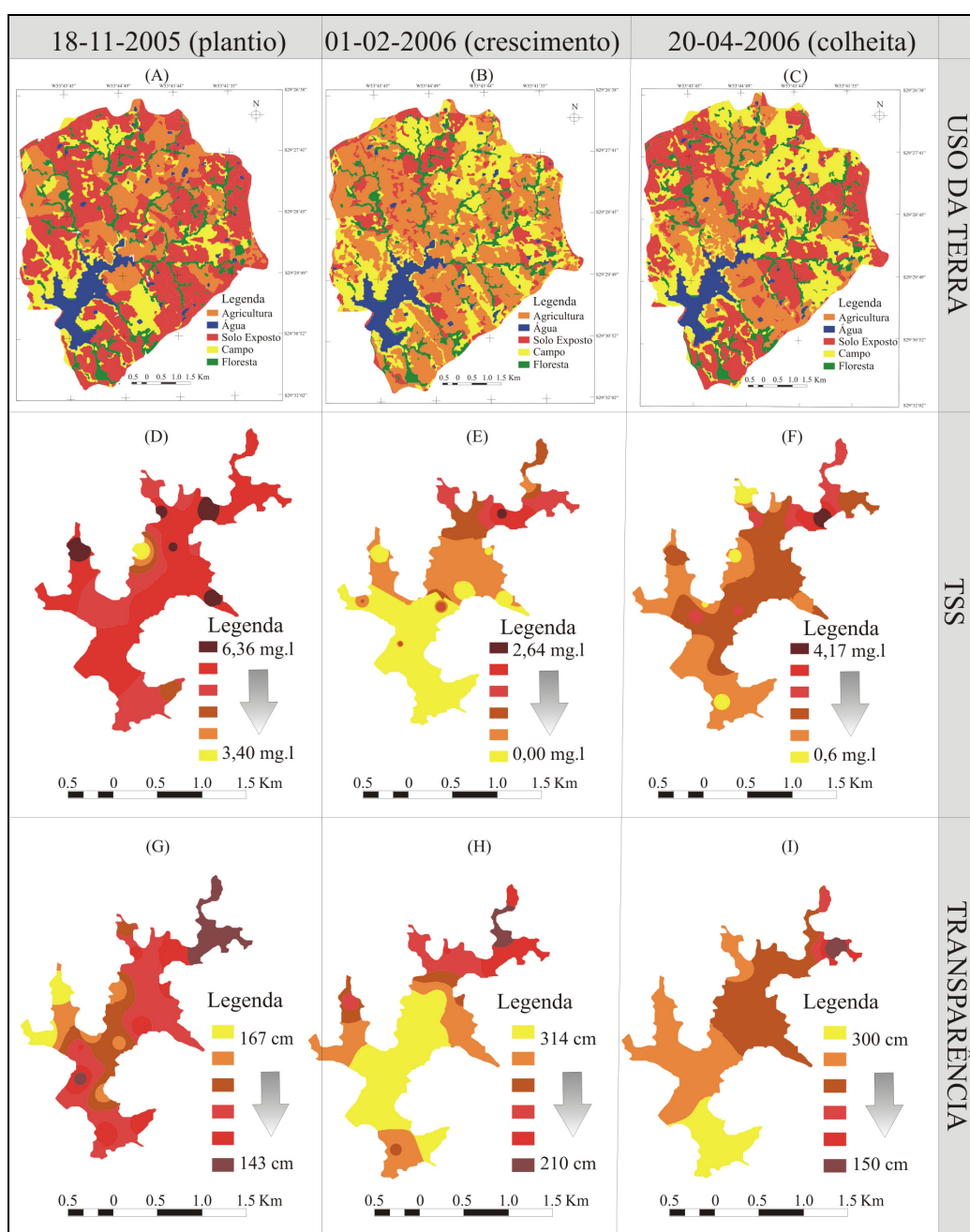


Figura 4 – Relações entre o uso da terra, TSS e transparência da água.

Neste período (26/11/05) ocorre a preparação do solo para o plantio, e em muitos locais, isso já pode ter ocorrido. O uso da terra predominantemente agrícola e de campos no dia 29/01/06 se manifestou no reservatório através do aumento da transparência da água e redução do TSS. Esta data está associada ao máximo desenvolvimento das culturas agrícolas, que devido ao seu estágio fenológico, proporciona alto índice de cobertura do solo. Na fase de senescência foi encontrada uma re-exposição do solo, fazendo com que algumas áreas do reservatório apresentassem elevação do TSS e a redução do DS.

Analisando o panorama geral do reservatório, verifica-se a existência de maiores variações dos dados no setor a montante do reservatório no período de análise, e em todo o reservatório para o período de preparo do solo devido a maior dinâmica. No setor a jusante as variações foram menores, possivelmente devido a uma menor influência direta do ecossistema terrestre. O ponto localizado no lado direito do setor central do reservatório apresentou baixa concentração de TSS durante o período avaliado, o que pode estar relacionado ao uso do solo naquele setor, que reduz o transporte de sedimentos para o reservatório.

Analisando a **Figura 4**, verifica-se que a primeira fase apresenta uma predominância de solo exposto e de áreas agrícolas. Na segunda fase, as áreas agrícolas predominam e na terceira fase ocorre uma equivalência das mesmas. Variações desta ordem podem ser observadas no TSS, visto que ocorre um aumento da concentração de TSS no início e fim dos ciclos, onde a classe solo exposto predomina. No entanto, variações nas classes de campo, floresta e água são pouco significativas.

Os dados de TSS e de uso da terra, apresentados na **Figura 4 e Tabela 3** mostram que no período de plantio, ocorreu uma maior quantidade de solo exposto nas sub-bacias 2, 4, 5 e 6 que refletiu no aumento da concentração de TSS no reservatório. No período intermediário, uma significativa redução de TSS ocorreu, e na senescência um aumento do TSS foi observado. Este resultado auxilia na compreensão da maior variância da PCP (CBERS-2 CCD, 11/12/2005) em detrimento as outras.

5. Considerações finais

A utilização da técnica de CP e de dados CBERS-2 CCD (11/12/2005) possibilitou a identificação dos compartimentos aquáticos. Este resultado provavelmente esteja associado a maior carga de sedimentos em suspensão decorrente da fase de preparo do solo e plantio, o que aumentou os índices de reflectância da água. Os mapas de uso da terra mostraram que as variações de TSS e transparência estão relacionadas à quantidade de solo exposto, que varia de acordo com o ciclo agrícola. Na fase de plantio, ocorre a preparação do solo, resultando num maior transporte de sedimentos para o reservatório, o que concorda com os resultados obtidos. Na fase de maior desenvolvimento vegetativo resultou na redução do TSS e no aumento da transparência no reservatório. Já na fase de colheita um aumento do TSS e redução da transparência são verificados, concordando com o tipo de uso da terra.

Tendo em vista, que apenas uma imagem permitiu a identificação de compartimentos aquáticos, as imagens Landsat TM5 e CBERS-2 CCD não são adequadas para discriminar pequenas variações em reservatórios. Destaca-se que para a maior parte do período agrícola o reservatório Rodolfo Costa e Silva apresenta variações espaciais e quantitativas de componentes opticamente ativos (TSS e Chl), que demandam uma melhor resolução radiométrica e espectral dos sensores orbitais.

6. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da CAPES, projeto nº 0258059 (Desenvolvimento de Estudos e Métodos para Análise das Características da Água no

Contexto Espaço-Temporal). A equipe também agradece ao CIPAM (Petrobras Ambiental - nº 1230) e a Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), pelo apoio logístico oferecido nas campanhas de campo.

7. Referências

Braga, C. Z. F. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da concentração de clorofila-a, transparência e profundidade da água na Lagoa de Araruama, RJ.** Tese de doutorado (Doutorado em geociências) - Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 1999.

Cabral, P. B. J. Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo- Brasil. **GeoFocus**, n. 3, p. 235-267, 2003.

Câmara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Journal of Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, 395-403, 1996.

Carder, K. L.; Steward, R. G.; Paul, J. H.; Vargo, G. A. Relationships between chlorophyll and ocean color constituents as they affect remote-sensing reflectance models. **Limnology e Oceanography**. v. 31, p. 403-413, 1986.

Chaves, P. Z. e Mac Kinnon, D. J. Automatic detection of vegetation changes in the southwestern United States using remotely sensed images. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 60, p. 571- 583, 1994

Dekker, A. G.; Vos, R. J.; Peters, S.W.M. Comparison of remote sensing data, model results and in situ data for total suspended matter (TSM) in the southern Frisian Lakes. **The Science of the total environment**. v. 268, p. 197–214, 2001.

Fonseca , L.M.G.; Prasad, G.S.S.D.; Mascarenhas , N. D. A. Combined Interpolation-Restoration of Landsat images Through a FIR Filter Design Techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v. 14, n. 13, p. 1247-2561, 1993.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Manual do SPRING. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/index.html>>. Acesso em: 20 julho 2006.

Kirk, J. T. O. **Light & photosynthesis in aquatic ecosystems**. 2 ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1994, 509p.

Lira, J., Morales, A. & Zamora, F. Study of sediment distribution in the area of the Pánuco river plume by means of remote sensing. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, n. 1, p. 171-182, 1997.

Mcfeeters, S.K. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v. 7, p.1425–1432, 1996.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. Disponível em: <<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>>. Acesso em: 26 junho 2006.

Nellis, M. D.; Harrington JR, J. A.; Wu, J. Remote sensing of temporal and spatial variations in pool size, suspended sediment, turbidity, and secchi depth in Tittle Creek Reservoir, Kansas: 1993. **Geomorphology**. v. 21, p. 281-293, 1998.

Ouma, Y. O; Tateishi, R. A water index for rapid mapping of shoreline changes of five East African Rift Valley lakes: an empirical analysis using Landsat TM and ETM+ data. **International Journal of Remote Sensing**, v.27, n. 15, p. 3153-3181, 2006.

Richards, J. **Remote Sensing Digital Image Analysis: An introduction**. 2 ed. Berlin: Springer-Verlag, 340 p., 1993.

Xu, H. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensing imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.27, n. 14, p. 3025-3033, 2006.