

Estimativa da distribuição temporo-espacial de material em suspensão nas águas do reservatório de manso-mt a partir de imagens landsat e dados de campo

Jeater Waldemar Maciel Correa Santos ¹
Vincent Dubreuil ²

¹ – UFMT - Universidade Federal do Mato Grosso
Campus de Rondonópolis – Rondonópolis-MT – Brasil
Pós-Doutorando junto ao Laboratório COSTEL UMR 6554 LETG, Universidade de Rennes2
em 2007/2008 (Bolsista CAPES)
jeater@ufmt.br

² - Laboratoire COSTEL UMR 6554 CNRS LETG, Université Rennes 2
Place du Recteur H.Le Moal, 35043 RENNES CEDEX, France
Professor visitante no Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília (bolsista da
CAPES em 2008)
vincent.dubreuil@univ-rennes2.fr

Abstract

The good use and the conservation of the natural resources necessarily require the access of the society to the informations of the water resources quality. In this way, the geotechnologies can give important contribution by reducing the costs and allowing higher frequency of informations on the quality of the superficial waters of great hydrological bodies such as hydroelectric reservoirs. The objective of this work is to map the distribution of the suspended solids in the superficial waters of the Manso reservoir (located in the state of Mato Grosso), using remote sensing data. To do so, we used in-situ collected limnological datas (10 stations) and Landsat images for the same date. After the geometrical and atmospheric corrections on the images 1, 2, 3, 4, 5 and 7 we extracted spectral informations for each of the 10 lake's stations. Next we carried out analyses of Pearson correlation between the averages of the reflectance's values for each point and the values of the limnological parameters for both images of the dry and the rainy season. Finally, we produced maps of spatial distribution of the suspended solids matter in the lake for the two seasons. The results showed the interest of remote sensing data to monitor the space-temporal variation of the concentration of this material in the Manso reservoir's waters.

Keywords: remote sensing, Manso reservoir, water resources, suspended solids matter

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Reservatório de Manso, Recursos Hídricos, Matéria Sólida Suspensa

1 – Introdução

Segundo estimativas da ONU (Organização das Nações Unidas) apenas um quarto da humanidade terá disponibilidade de água para suas necessidades mínimas até o ano de 2050 (WRI, 2000). De acordo com levantamentos do Programa das Nações Unidas Para o Meio Ambiente (PNUMA) já existe cerca de 80 países, que representam quarenta por cento da população mundial, com sérias dificuldades para manter a disponibilidade de água (PNUMA/IETC, 2001).

Assim, o monitoramento da qualidade das águas de superficiais com emprego de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento é um objetivo que tem sido perseguido por vários pesquisadores em muitos países desde a década de 70.

Isto porque, estas tecnologias podem proporcionar grande contribuição no sentido de reduzir os custos e o tempo necessário para o monitoramento de grandes corpos hídricos (como rios, lagos e reservatórios de hidrelétricas) e, conseqüentemente, melhorar a capacidade de gestão e preservação dos recursos hídricos pela sociedade e órgãos gestores.

Novo (2005) ressalta que um dos grandes desafios da ecologia aquática hoje é conhecer o funcionamento de base dos ecossistemas aquáticos e compreender suas respostas decorrentes de perturbações introduzidas pelas atividades humanas, de modo a prever o impacto dessas sobre suas condições de sustentabilidade em médio e longo prazo.

O Reservatório de APM Manso situa-se na Bacia do Rio Manso no Centro-Sul do Estado de Mato Grosso, Município de Chapada dos Guimarães, aproximadamente entre as coordenadas geográficas de -55°30' e -56°00' e -14°30' e -15°00'. (Figura 01)

Este reservatório é formado por uma área de captação de cerca de 11.000km² referente as áreas das sub-bacias de dois rios principais, Manso (ao norte) e Casca (ao sul), que se confluam próximo ao local onde hoje é a barragem, permitindo a formação de um lago bifurcado que apresenta atualmente uma área de cerca de 390km². (Figura 01)

Tanto o rio Manso como o Casca tem suas nascentes nos terrenos elevados da Chapada dos Guimarães onde predomina agricultura comercial moderna, com forte apelo a adubos sintéticos e agrotóxicos. Em seguida atravessam áreas da Baixada Cuiabana (tradicionalmente utilizadas para a pecuária extensiva) e deságuam no rio Cuiabá. Este por sua vez é afluente do rio Paraguai, fazendo parte assim, da bacia Platina.

Segundo Lima (2001) a implantação da usina de Manso em Mato Grosso foi planejada no final da década de 70, com a função de regular as cheias ocorridas na região e que afetavam periodicamente as cidades de Nobres, Rosário Oeste, Acorizal e, principalmente, Cuiabá (Figura 01).

O início do enchimento ocorreu no final de novembro de 1999 estendendo-se até dezembro de 2000 (HABTEC-FURNAS, 2001). Mas o funcionamento da primeira turbina só ocorreu em fevereiro de 2001.

A área inundada era predominantemente de vegetação de cerrado, principalmente do tipo Savana Arbórea Aberta, entremeada por florestas de galeria. A ocupação predominante do solo era para pecuária extensiva e agricultura de subsistência (Lima, 2001).

Esteves (2001) comenta que a construção da represa de Manso trouxe vários impactos sócio-ambientais para a região, sendo alvo de pesadas críticas da população ribeirinha, ONGs

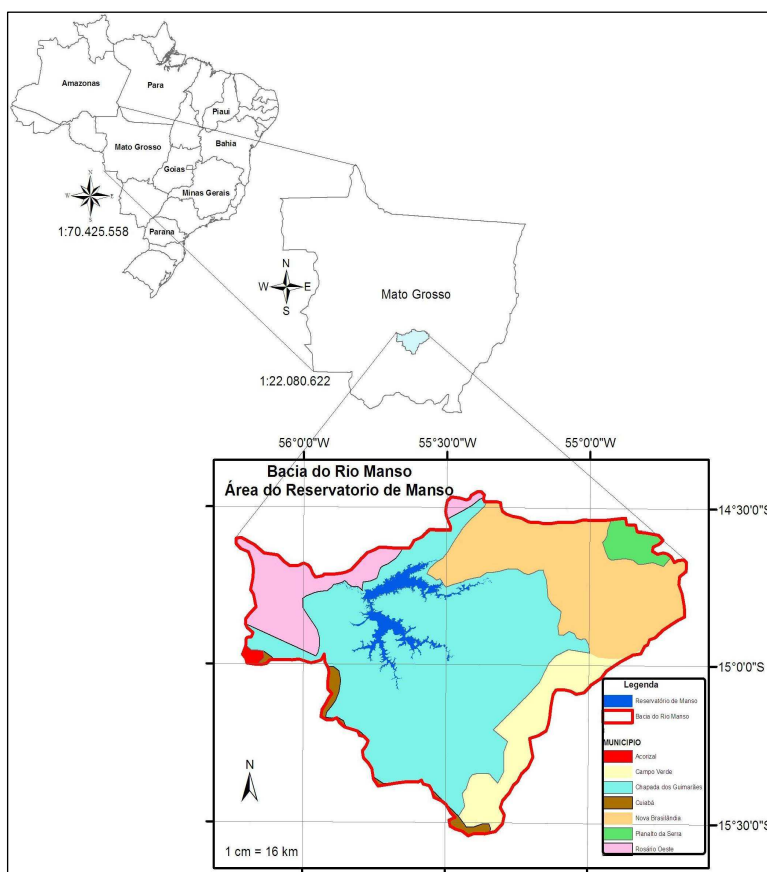


Figura 01 – Localização do Reservatório de Manso-MT

e da comunidade científica, tanto pela escolha do local, como pelo processo de alteração da qualidade das águas do reservatório.

Lima (2001) comenta que essa fase ocorreu de forma tão intensa na região de Manso que as comunidades ribeirinhas, aliadas as Organizações Não-Governamentais e à Associação dos Pescadores, protestaram e entraram com uma ação civil para impedir a continuidade da obra. Estes alegaram que a água a jusante e a montante da barragem também apresentava péssima qualidade e um forte cheiro proveniente desse processo de decomposição, provocando doenças de pele e afugentado os cardumes, tirando-lhes, assim, a principal fonte de alimento e a única alternativa de renda.

Diante de problemas como este, a utilização de recursos de sensoriamento remoto para auxiliar no monitoramento da qualidade das águas superficiais de mananciais de usos múltiplos desponta como instrumento de grande interesse por parte da sociedade como um todo, uma vez que permite monitorar e controlar a qualidade de um recurso natural de vital importância para as condições de saúde pública. Principalmente no caso de reservatórios hidrelétricos, que por serem sistemas de transição entre ambientes aquáticos lênticos e lóticos, apresentam maior tempo de residência das águas e tamanho adequado para os recursos de sensoriamento remoto mais disponíveis (NOVO, 2005).

A realização do monitoramento da qualidade das águas de grandes corpos hídricos apenas através de métodos convencionais (análises laboratoriais de amostras pontuais de água coletadas *in situ*) apresenta sérias limitações tanto de ordem econômica quanto operacionais, que acabam dificultando o acompanhamento por parte da sociedade, das reais condições ecológicas dos mesmos.

Diversos estudos já foram produzidos no Brasil objetivando realizar o monitoramento de recursos hídricos através do emprego de recursos de sensoriamento remoto, sendo alguns deles voltados a compreensão da variação de parâmetros limnológicos em reservatórios de usinas hidrelétricas (REIS et al, 2003; CABRAL, 2003; PEREIRA FILHO et al, 2003; NOERNBERG et al, 1996; SILVA et al, 1996 entre outros).

Assim, este trabalho visou mapear a distribuição temporo-espacial das concentrações do material sólido em suspensão nas águas superficiais do reservatório de Manso através do uso de técnicas de sensoriamento remoto enquanto uma alternativa metodológica (no mínimo) complementar aos métodos convencionais de monitoramento da dinâmica temporo-espacial da qualidade das águas superficiais de reservatórios de hidrelétricas.

2 – Metodologia de Trabalho

Para realização desse estudo foram utilizadas imagens Landsat 5 e 7, das seguintes datas: 13/08/2000, 19/12/2000, 05/06/2001, 08/08/2001, 27/08/2002 e 01/12/2002 e dados limnológicos coletados *in situ* no Reservatório de Manso coletados pelos técnicos de FURNAS - Centrais Elétricas S.A empresa responsável pela Hidrelétrica de Manso. Tais imagens foram selecionadas em função de coincidirem com as datas de coleta de dados limnológicos *in situ* nesse reservatório.

Afim de bem posicionar tais imagens sobre a área do Reservatório de Manso, as mesmas foram georeferenciadas no sistema de referência espacial UTM fuso 21 e Datum SAD/69-Brasil e tiveram seus posicionamentos corrigidos com auxílio de uma base vetorial (com mesmo sistema de referencia espacial) contendo informações da drenagem, principais estradas etc, da região da Bacia do Rio Manso, produzida a partir da junção de 4 cartas topográficas do IBGE em escala 1:250.000.

Para possibilitar a comparação de dados espectrais de diferentes datas, procedeu-se a correção atmosférica das imagens usadas no estudo através do emprego do modelo 6 S de

modo a eliminar (ou reduzir) a influência da atmosfera na radiação detectada pelos sensores TM e ETM+.

Uma vez concluído as correções geométricas e atmosféricas das imagens passou-se a etapa de extração das informações das mesmas. Assim, para extrair os dados espectrais das imagens utilizou-se uma base vetorial com a localização das 10 estações de coleta do Reservatório de Manso (Figura 02). Tal base serviu como referência espacial para a construção de “regiões de interesse” ROI no ambiente do software ENVI, e a partir de tais ROIs (pequenos polígonos digitalizados em torno dos pontos de cada estação de coleta), se extraiu os valores de reflectância da água para 6 a 9 pixels de cada banda de cada imagem.

Assim, a partir dos valores médios de reflectância obtidos para cada data e cada estação de amostragem e dos valores da matéria sólida suspensa fixa (SSF) medida na superfície das águas do reservatório, foram feitas análises de correlação bivariada com emprego do coeficiente de correlação de Pearson para o nível de significância mínimo de 0,050. Utilizou-se o software Statistica para determinação das matrizes de correlação.

Em seguida, fez-se a espacialização dos elementos que apresentaram os níveis de correlação mais significativos. Os mapas da estimativa da distribuição espacial dos parâmetros limnológicos escolhidos, ou seja, Matéria sólida suspensa fixa, foram produzidos no ambiente do software Idrisi.

Em seguida, foram produzidos no ambiente do software Idrisi, os mapas da distribuição espacial dos parâmetros limnológicos escolhidos, ou seja, matéria sólida suspensa fixa, a partir da aplicação da equação de regressão obtida entre os valores das concentrações do SSF na superfície das águas do reservatório e as reflectâncias da banda 3 ($r=0.88$ ago/02 e $r=0.82$ dez/02 – $p>0,05$).

A fim de isolar as porções terrestres das imagens analisadas criou-se uma imagem máscara. A princípio tentou-se criar tal imagem com a utilização da técnica de classificação não supervisionada com emprego da banda 4 (TM/ETM+). Contudo, como ocorria muita confusão entre áreas classificadas nas imagens como “sombras de nuvens” e “águas”, optou-se em utilizar as técnicas de classificação orientada a objetos e funções de pertinência *fuzzy* disponíveis no software eCognition, para criar tal imagem máscara.

3 - Resultados e Discussão

Variação Sazonal do SFF no reservatório de Manso

As médias mensais dos totais de matéria sólida suspensa fixa, medidos *in loco* no reservatório de Manso (Figura 03), indicam variação sazonal no comportamento dos mesmos, provavelmente sofrendo influência do ritmo climático em nível local e regional, sobretudo pelo escoamento das águas das chuvas. Nota-se ainda nesta figura que os rios Manso e

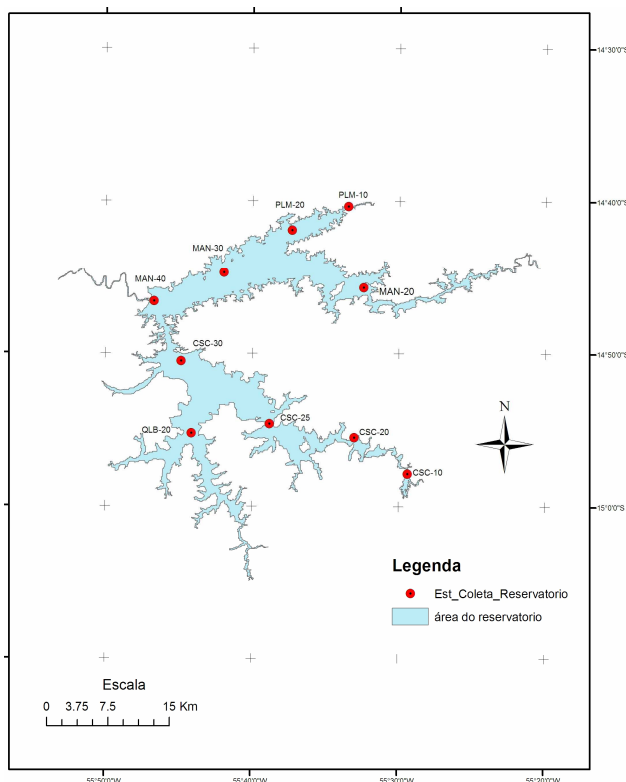


Figura 02 – Pontos de coleta de dados limnológicos no Reservatório de Manso-MT

Quilombo são os que mais contribuem com os altos aportes de cargas de sedimentos para as águas do reservatório de Manso.

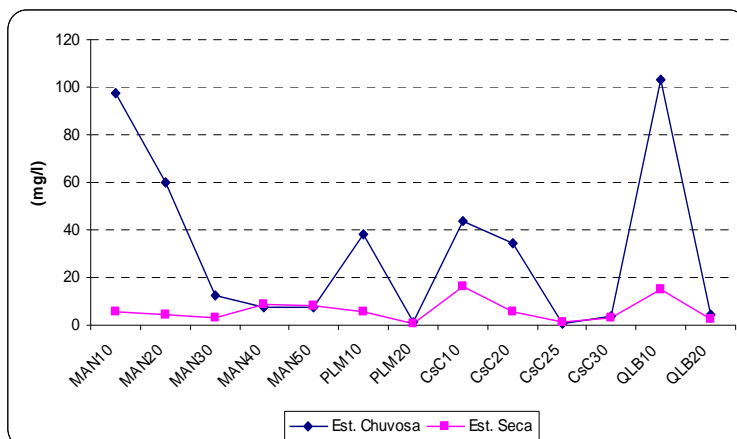


Figura 03 – Variação dos totais de SSF nas águas superficiais do Reservatório de Manso nas estações seca e chuvosa da região (dez/1999 a abril/2003).

Comportamento também observado nas medidas de SSF dos meses de agosto e dezembro do ano 2002, conforme pode-se observar na figura 04, sobretudo para as estações de amostragem localizadas nas entradas no reservatório dos 4 rios (Manso –MAN-10, Casca CSC-10, Palmeiras PLM-10 e Quilombo QLB-10) que o formam. No caso da estação MAN-50, os valores do SFF são altos porque a mesma também situa-se em ambiente lótico, pois trata-se da continuação do rio Manso após a passagem pela Barragem da hidrelétrica de Manso.

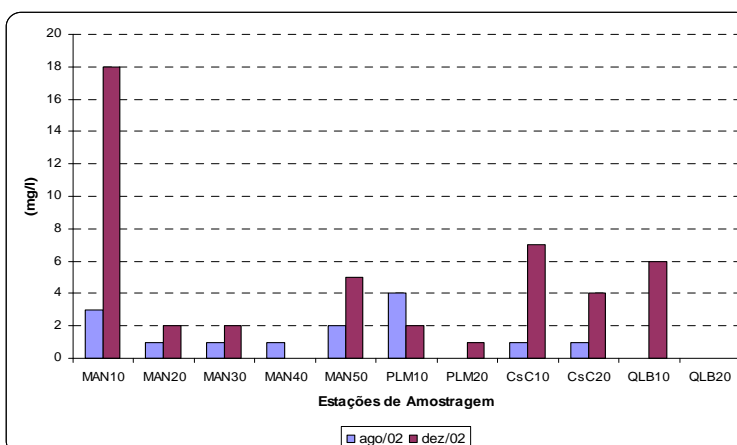


Figura 04 – Variação dos totais de SSF nas águas superficiais do Reservatório de Manso nos meses de agosto (estação seca) e dezembro (estação chuvosa) do ano de 2002

Mapeamento da Distribuição Espacial do SFF no Reservatório de Manso nas Estações Seca e Chuvosa

Nota-se no mapa de distribuição espacial do SFF nas águas superficiais do reservatório de Manso para a estação seca (Figuras 05), que nessa época a distribuição desse material é mais homogênea. Ocorrem valores muito baixos (< 1,0 mg/L) na região do corpo do reservatório (estações MAN 30, MAN 40, CSC 25, CSC 30, QLB 20 e PLM20), e valores um pouco mais elevados (superiores a 2,0 mg/L), apenas nas entradas dos rios que formam o reservatório (Palmeiras e Manso no braço norte e Casca e Quilombo no braço sul).

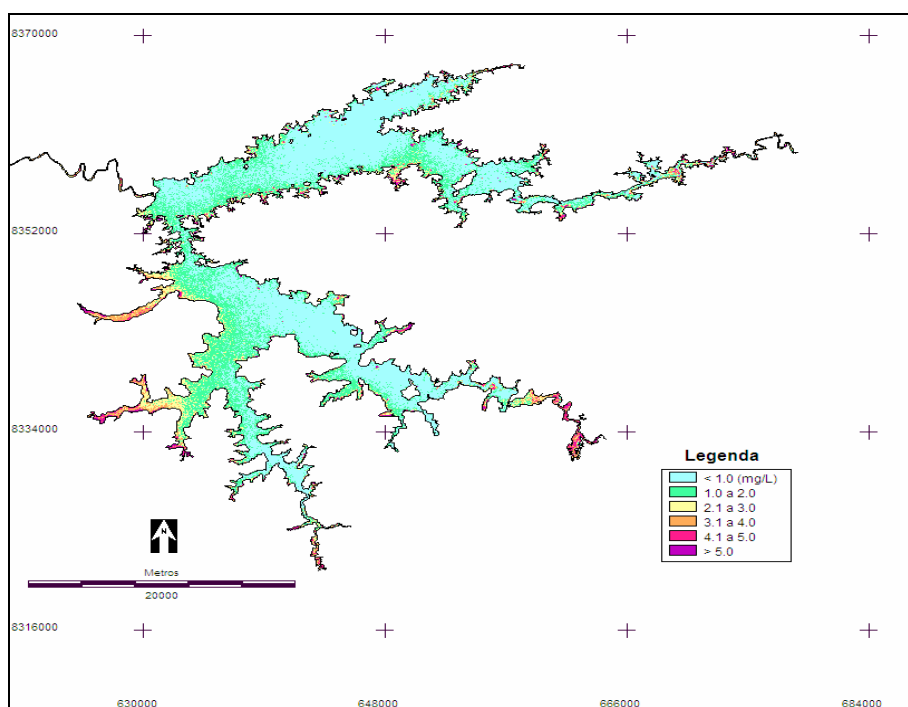


Figura 05 – Mapa da distribuição do SSF no reservatório de Manso na estação seca, para a equação de regressão linear obtida entre a concentração desse material medida na superfície das suas águas e as reflectâncias da banda 3 /ETM+ ($r=0.88$) do dia 27/08/2002

Já no mapa da distribuição do SSF da estação chuvosa (Figura 06), percebe-se uma tendência mais evidente a formação de gradientes longitudinais decrescentes desse material, no sentido rio-barragem, nos leitos submersos dos dois principais rios formadores do reservatório, o Manso no braço norte e o Casca no braço sul. Também se observa que, de modo geral, os valores do SSF são bem mais elevados nessa época em toda a área do reservatório.

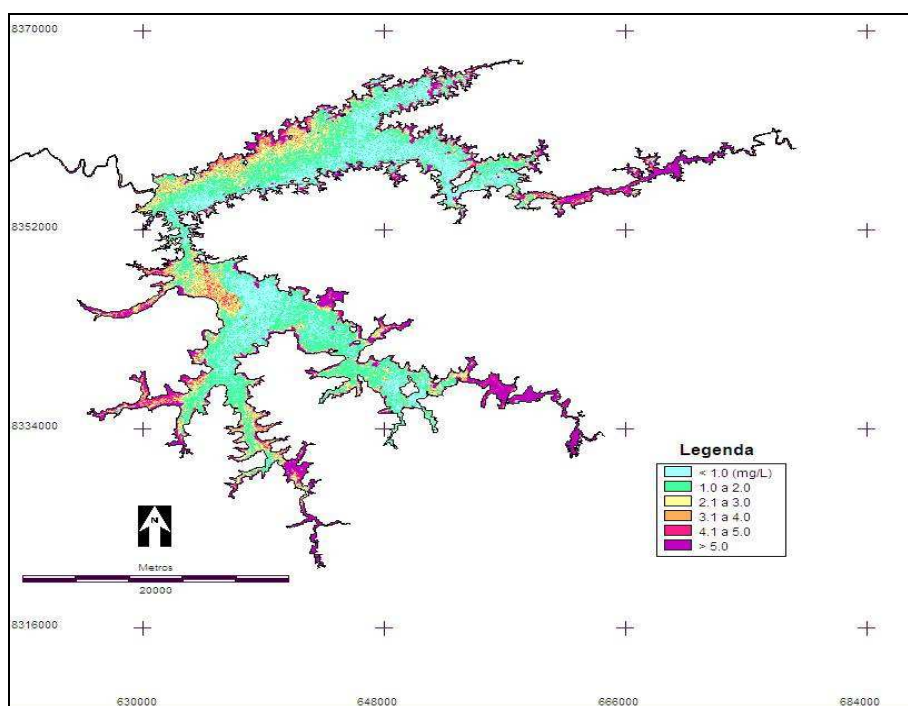


Figura 06 – Mapa da distribuição do SSF no reservatório de Manso na estação chuvosa, para a equação de regressão linear obtida entre a concentração desse material medida na superfície das suas águas e as reflectâncias da banda 3/ETM+ ($r=0.82$) do dia 01/12/2002

Quanto à precisão dos modelos utilizados, observou-se que de modo geral, ocorrem subestimação dos valores do SFF em algumas estações de amostragem e superestimação em outras, tanto na época seca quanto na chuvosa. Entretanto, para a estação seca houve uma tendência maior em subestimar os valores de concentração do SFF (erro médio de -0,06) nas águas superficiais do reservatório (Figura 07), e na estação chuvosa uma forte tendência em superestimar (0,14) tais valores (Figura 08).

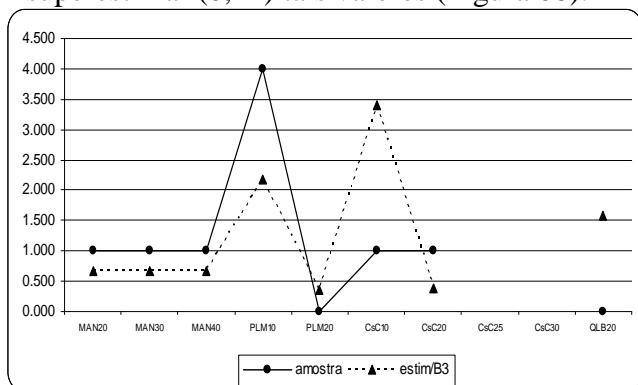


Figura 07 – Concentrações de SFF obtidas por cluster de 3 x 3 nos mapas de distribuição do SFF da estação seca, gerados a partir de regressão linear entre os dados amostrados e as reflectâncias da banda 3/ETM+ e os valores medidos nas estações de amostragem do reservatório de Manso

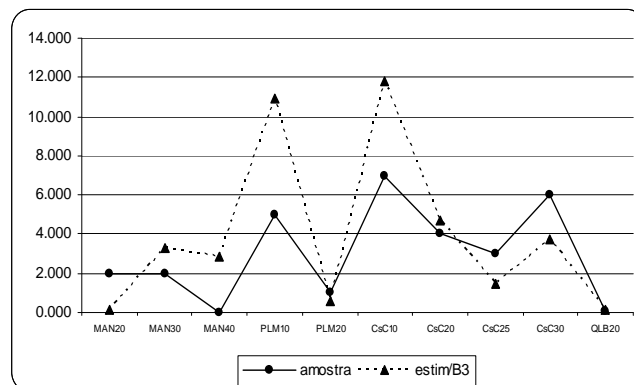


Figura 08 – Concentrações de SFF obtidas por cluster de 3 x 3 nos mapas de distribuição do SFF da estação chuvosa, gerados a partir de regressão linear entre os dados amostrados e as reflectâncias da banda 3/ETM+ e os valores medidos nas estações de amostragem do reservatório de Manso

Os resultados encontrados nesse estudo se aproximam dos encontrados em outros trabalhos que também buscaram a partir da correlação de dados coletados *in situ* e dados espectrais obtidos a partir de imagens Landsat (sensores TM e ETM+), estimar a concentração de matéria sólida em suspensão (BUSTAMANTE et al, 2008; REIS et al, 2003; SILVA et al, 1996).

Nestes estudos, as bandas 3 e 4 dos sensores TM/ETM+ foram as que apresentaram as melhores correlações com o material em suspensão nos corpos hídricos estudados (BUSTAMANTE et al, 2008, REIS et al, 2003), permitindo mapear a distribuição temporoespacial desse parâmetro limnológico, ainda que uma parte da variância dos mesmos não tenha sido explicada pelos modelos empregados.

4 - Conclusões

Os resultados obtidos demonstram que a compreensão da dinâmica temporoespacial do material sólido suspenso nas águas superficiais do reservatório Manso, tornou-se mais consistente com a conjugação de informações obtidas a partir de imagens de satélites e dados medidos *in situ*. Pois a partir da extrapolação das correlações verificadas em nível pontual, pode-se mapear para as estações seca e chuvosa a distribuição geográfica desse parâmetro limnológico para toda a área do reservatório. Tal mapeamento permitiu uma visão de conjunto e a custo bastante reduzido, do comportamento de um importante indicador da qualidade das águas desse reservatório.

Diante desses resultados conclui-se que a utilização de informações obtidas a partir de imagens de satélites podem dar significativa contribuição ao monitoramento de nossos recursos hídricos através do emprego de técnicas de sensoriamento remoto, sobretudo no caso de grandes corpos hídricos como os de reservatórios de hidrelétricas. Pois além de permitirem uma visão de conjunto sobre a variação da qualidade das águas dos mesmos a custos bastante reduzidos em relação aos métodos convencionais, também possibilitam que pessoas que não tenham formação técnica consigam compreender tal variação representada nos mapeamentos

temáticos produzidos. Consequentemente isso ampliaria o número de pessoas que podem participar do controle social sobre o uso e conservação desses recursos, que é um dos grandes objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº9. 433/97).

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a CAPES pelo financiamento da Bolsa de estágio pós-doutoral junto ao Laboratório COSTEL em 2008, para o desenvolvimento do projeto de pesquisa “Potencial de Contribuição das Geotecnologias para o Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais no Estado de Mato Grosso”.

E a FURNAS Centrais Elétricas pelo fornecimento dos dados das análises limnológicas das amostras de água do reservatório de Manso.

Referências Bibliográficas

BUSTAMANTE, J.; PACIOS, F.; DÍAS-DELGADO, R.; ARAGONÉS, D. Predictive models of turbidity and water depth in the Doñana marshes using Landsat TM and ETM+ images. *Journal of Environmental Management*. vol XX, p.1-7, 2008.

CABRAL, J. B. P. Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Sperman em Imagens TM para o Estudo da Concentração de Sedimentos em Suspensão no Reservatório de Barra Bonita – São Paulo – Brasil. *Geofocus - Revista Internacional de Ciência y Tecnologia de la Informacion Geográfica.*, Madrid- España, nº 03, p. 235-267, 2003. Disponível em: http://geofocus.rediris.es/dcoPDF/Articulo13_2003.pdf acesso em 19/01/07

ESTEVES, F.A. Fundamentos de Limnologia. Interciência-FINEP, Rio de Janeiro, 1988. 602p apud LIMA, E. B. N. Modelação integrada para gestão da qualidade da água na bacia do rio Cuiabá. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), COPPE/UFRJ, 2001.

HABTEC-FURNAS.. APM Manso. Monitoramento limnológico e da qualidade da água: relatório final de avaliação da fase de enchimento do reservatório. HABTEC-FURNAS. Rio de Janeiro, 2001.120p

LIMA, E. B. N. Modelação integrada para gestão da qualidade da água na bacia do rio cuiabá. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), COPPE/UFRJ, 2001.

NOERNBERG, M. A. et al. Relação entre Profundidade Secchi e Fator de Reflectância da Água de Ambientes Aquáticos lênticos em Cachoeira Paulista, SP. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 08, 1996, Salvador - Brasil. Anais ... Salvador:INPE, 14 a 19 de abril de 1996. p. 933-939 Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.01.11.15/doc/T222.pdf> acesso em 25/01/07

NOVO, E. M. L de M. Sensoriamento Remoto Aplicado à Ecologia Aquática. In: ROLAND, F.; CESAR, D.; MARINHO, M. (Orgs) Lições de Limnologia. São Carlos:RIMA, 2005. p 418- 432.

PEREIRA FILHO, W.; STRASSBURGER, L.; BARBOSA, C. C. F. Caracterização Espectral do Reservatório de Ita – Sul do Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11, 2003, Belo Horizonte - Brasil. Anais ... Belo Horizonte:INPE, 05 a 10 de abril de 2003. p. 2555-2559

REIS, R. S. et al. Uso de Imagens Landsat e Dados de Campo para Avaliar a Distribuição Espacial de Material em Suspensão em Reservatórios do Semi-Árido Brasileiro. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11, 2003, Belo Horizonte - Brasil. Anais ... Belo Horizonte:INPE, 05 a 10 de abril de 2003. p. 2569-2577 Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/Itid.inpe.br/sbsr/2003/03.28.12.35/doc/goto-Idid.inpe.br/sbsr/2002/11.19.16.11/18447.pdf> acesso em 19/01/07

SILVA, O. F.; NOVO, E.; KRUG, T. Distribuição Espaço-temporal dos Totais Sólidos em Suspensão do Reservatório Tucuruí/PA Através de Dados in situ e TM-Landsat. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 08, 1996, Salvador - Brasil. Anais ... Salvador:INPE, 14 a 19 de abril de 1996. p. 387-392 Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/01.27.15.40/doc/T219.pdf> acesso em 19/01/07

WORLD RESOURCES INSTITUTE. World Resources 2000-2001: people and ecosystems: the fraying web of life. Oxford:Elsevier Science, 2000. 389p