

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO DE MANSO ATRAVÉS DO SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL (LANDSAT-5/TM)

Ineilian Bruna Correa da Costa¹
Simoni Maria Loverde de Oliveira²
Jeater Waldemar Maciel Correa Santos³

RESUMO: A construção de reservatórios provoca alterações na estrutura físico-química e hidrobiológica do meio aquático, podendo gerar significativos impactos ambientais, dessa forma, este estudo teve por objetivo avaliar a qualidade da água do reservatório de Manso a partir da utilização do IQA e da dinâmica trófica, estabelecendo relações entre o fósforo e a resposta espectral da água com o auxílio de imagens orbitais. Para determinar o IQA foi utilizada a base de dados limnológicos cedidos por Furnas e os cálculos da CETESB (2011). Na espacialização do fósforo total foram utilizadas imagens de satélite Landsat5/TM (INPE), com aplicação do modelo de regressão linear simples, trabalhadas no ENVI4.4. Para a classificação trófica tomou-se como base a média da fase de operação. A água do reservatório durante fase de operação (2004-2006,) foi classificada como boa/ótima e oligotrófica. A espacialização do PT mostrou tendência a menores concentrações no sentido rio-barragem. No período da estiagem houve pequenas variações espaciais nas concentrações de PT, além disso, essa variável teve comportamento distinto entre o braço Norte (Manso) e braço Sul (Casca) em uma das imagens. Dessa forma, os dados apontam que apesar das atividades de caráter múltiplo desenvolvidas no reservatório, durante a época analisada a água desse ambiente enquadrou-se nos limites estabelecidos para corpos d'água de classe 2 e teve reduzido nível de trofia quando considerados valores de PT. O uso do sensoriamento remoto mostrou-se eficaz na avaliação e monitoramento hídrico do reservatório de Manso uma vez que forneceu informações sobre a dinâmica trófica e qualidade da água.

Palavras-chave: Qualidade da água, sensoriamento remoto, nutrientes.

EVALUATION OF QUALITY OF WATER THROUGH THE RESERVOIR MANSO REMOTE SENSING (LANDSAT-5/TM)

ABSTRACT: The construction of reservoirs causes changes in physical-chemical structure and Hydrobiology of the aquatic environment and can cause significant environmental impacts, therefore, this study aimed to evaluate the water quality of the Manso reservoir from the IQA and the use of trophic dynamics establishing relations between phosphorus and spectral response of the water with the aid of satellite images. To determine the WQI was used limnological database courtesy of Furnas and calculations CETESB (2009). The spatial distribution of total phosphorus were used satellite images Landsat5/TM (INPE), applying the simple linear regression model, worked in ENVI4.4. For trophic classification was taken as the basis of the average phase of operation. The water in the reservoir during the operation phase (2004-2006,) was rated as good / excellent and oligotrophic. The spatial distribution of the PT showed a tendency toward lower concentrations toward the river-dam. In the dry season there was little spatial variation in concentrations of PT, in addition, this variable had different behavior between the northern arm (Meek) and southern branch (Hull) on one of the images. Thus, the data indicate that despite the activities of multiple character developed in the reservoir during the time that analyzed the water environment which met the limits for water bodies of class 2 and low level of hypertrophy was considered when PT values . The use of remote sensing proved to be effective in assessing and monitoring water tank Manso as it provided information on the trophic dynamics and water quality.

Key words: Water quality, remote sensing, nutrients.

¹ Graduada em Ciências Biológicas/ICEN/UFMT inei_bruna@hotmail.com

² Professora Dra. Departamento de Ciências Biológicas/ICEN/UFMT

³ Professor PhD. Departamento de Geografia/ICHS/UFMT

INTRODUÇÃO

A qualidade da água é medida visualmente através da cor devido à importância atribuída ao valor estético, porém não é possível diagnosticar suas condições apenas com a aparência, pois muitos dos efluentes emitidos nos corpos hídricos que interagem com a água não são visualmente identificados e podem provocar a contaminação do ambiente. Dessa forma torna-se necessário os estudos de análises de água para a determinação dos possíveis impactos ambientais tanto em ambientes hídricos naturais quanto em ambientes artificiais como reservatórios (TUNDISI & TUNDISI, 2008).

O Brasil é um país cujo potencial hídrico estimula a implantação de reservatórios para suprir as necessidades de abastecimento d'água para fins diversos. Porém, a construção de barragens, com a transformação abrupta de um ambiente lótico (rio) em lêntico (lago), provoca alterações nos regimes dos rios e consideráveis desequilíbrios na estrutura físico-química e hidrobiológica do meio aquático, podendo gerar significativos impactos ambientais, muitas vezes negativos, a montante e a jusante do barramento (BASTOS, 1998).

Desta forma como os reservatórios são utilizados para os usos múltiplos, a determinação da qualidade da água, a avaliação dos futuros impactos e o monitoramento permanente são fundamentais para a compreensão dos processos de integração que ocorrem entre os usos da bacia hidrográfica, os usos múltiplos e a conservação ou deteriorização da qualidade da água (TUNDISI & TUNDISI, 2008).

Qualidade esta que também é medida através da concentração de nutrientes, como o fósforo, onde apesar de serem indispensáveis para o crescimento são geralmente responsáveis pela eutrofização (SILVA, *et al.*, 2007). Podem gerar segundo Von Sperling, M (1996) problemas como a diminuição do uso da água para recreação, balneabilidade, surgimento de freqüentes florações das águas, aumento da presença de insetos, maus odores e mortandades de peixes.

Diante de problemas como este, a utilização de recursos de sensoriamento remoto para auxiliar no monitoramento da qualidade das águas superficiais 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 (NOVO, 2005).

O reservatório APM Manso localiza-se no estado de Mato grosso, aproximadamente entre as coordenadas UTM 631.450-685.380 X e 8.334.228-8362.150 Y. A área do reservatório pertence a dois municípios mato-grossenses, Chapada dos Guimarães, onde a maior parte está inserida, e Cuiabá ambos pertencentes a Microrregião de Cuiabá e Mesorregião Centro-Sul Mato-grossense. (HIGA, 2005). Este se situa na bacia do rio Manso, que por sua vez, pertence à Bacia do Alto Paraguai, formado principalmente pela contribuição das águas dos rios Manso e Casca, que se confluíam próximo ao local onde hoje é a barragem, o que permitiu a formação de um lago bifurcado e dendrítico.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da água do reservatório de Manso a partir da utilização do IQA e da dinâmica trófica estabelecendo relações entre o fósforo e a resposta espectral da água com o auxílio de imagens orbitais.

Teve como objetivos específicos: Utilizar o Índice de Qualidade de Água - IQA para avaliação da qualidade da água do reservatório de Manso; estabelecer relações entre as concentrações de fósforo e a resposta espectral da água; espacializar os valores de fósforo no reservatório avaliando a sua dinâmica no período de estiagem durante a fase de operação do reservatório.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas informações do banco de dados limnológicos cedido por FURNAS - Centrais Elétricas S.A empresa responsável pela Hidrelétrica de Manso, considerando apenas a fase Operação (fev-04 e nov-06). A variável analisada foi o fósforo total (mg/L) correspondente aos dados amostrados na superfície (0,3m) da coluna d'água.

Foram utilizadas duas imagens disponibilizadas pelo INPE sendo ambas do satélite Landsat-5/TM, órbita-226, ponto-070 com projeção UTM (fuso 21), Datum WGS-84 e resolução de 30 m adquiridas nas datas: 24/08/2004 - em função da simultaneidade e proximidade na data e 14/08/2006 - e por ser também próximo as datas da coleta (09/08/2006 e 10/08/2006).

As estações de coleta de dados limnológicos no reservatório de Manso correspondentes ao dia 24/08/2004 são a MAN10, MAN20, MAN30, MAN40, CSC30, CSC25 e QLB20 e 14/08/2006 - MAN10, MAN20, MAN30, MAN40, CSC30, CSC25 e CSC20 (Figura 1).

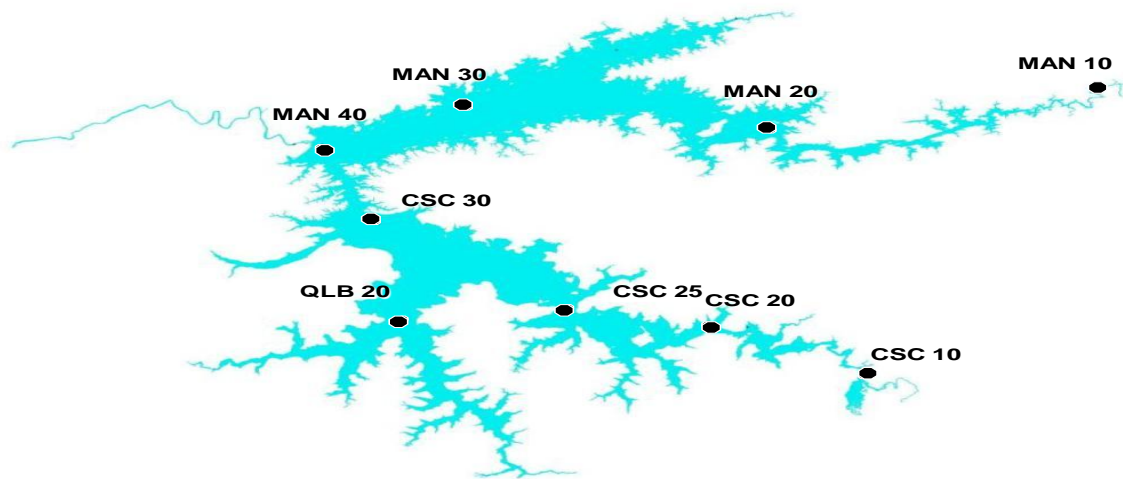


FIGURA 1. Localização das estações do Reservatório de Manso APM, estado de Mato Grosso, Brasil.

A análise das imagens foi dividida em duas etapas: 1) o pré-processamento - correção geométrica e atmosférica e 2) o processamento - conversão dos dados digitais para valores de reflectância; criação e aplicação de mascaras; extração dos valores de reflectância e classificação. Estes processos foram realizados com emprego do software ENVI 4.4 e com as bandas do visível (bandas 1, 2 e 3) e a banda da faixa do infravermelho-próximo (banda 4). Para as análises de correlação entre os dados espectrais e os dados limnológicos foi utilizado o software Excel a partir de gráficos de dispersão e para o mapeamento da área foi aplicado o método estatístico de regressão linear simples.

1) Pré-processamento de imagens

O ajuste das imagens ocorreu com o georreferenciamento destas através de uma imagem base Geocover de composição RGB342, onde foram identificados de início oito pontos de controle tais como estradas, rios etc. As bandas escolhidas para este estudo foram as bandas 1, 2, 3 e 4 em função de suas características específicas empregadas para se fazer um estudo de qualidade da água (TRENTIN, 2009; HERMES, 2005).

Para a correção atmosférica foi adotado o método de histograma também conhecido como DOS (*Dark Object Subtraction*), ou subtração do objeto escuro, desenvolvido por CHAVEZ (1989), consistindo em uma técnica de subtração dos pixels que apresentam valores, que na imagem deveriam ser nulos, isso devido a interferência da atmosfera na radiação recebida pelos sensores orbitais. Porém por apresentarem valores com poucas variações, optou-se pela imagem apenas georreferenciada.

2) Processamento de imagens

A partir do cálculo de conversão dos níveis digitais para radiância/reflectância foram obtidos os dados de reflectância de toda área das imagens, em seguida, foram identificados às estações de coleta através de uma base vetorial.

De cada estação de coleta de dados limnológicos do reservatório de Manso, foram extraídos os valores de reflectância com auxílio do cursor de localização do software ENVI 4.4.

Para a demarcação do reservatório foi construída uma máscara de delimitação do corpo hídrico, criada na banda 4, a partir da operação booleana, processo onde todos os pixels que representam a água foi atribuído o valor 1 e as demais áreas o valor 0 (REIS, 2003, LIMA, 2006), para ser aplicada posteriormente nas demais bandas de estudo. A banda 4 por possuir uma capacidade de menor absorção da radiação, possibilitou uma maior distinção reflexiva dos componentes terrestres, servindo dessa forma para o delineamento dos corpos hídricos para a criação da máscara.

O estudo de correlação ocorreu por meio de análises estatísticas no Excel baseado em gráficos de dispersão com os dados extraídos das imagens e os dados de fósforo total (mg/L) medidos “in situ” de cada data, considerando um nível de correlação de no mínimo R^2 (0,70).

Os dados que obtiveram melhor correlação foram utilizados para a espacialização do fósforo através do modelo de regressão obtido em recursos do software ENVI 4.4.

Em seguida, para uma melhor visualização do comportamento do reservatório no sentido rio - barragem de forma geral foi aplicada à classificação não supervisionada Isodata, por ser um método que agrupa os pixels com o comportamento espectral homogêneo sem requerer um conhecimento prévio sobre a localidade de estudo. Em ambas as imagens foram adotadas dez classes, porém apenas sete foram encontradas pelo classificador.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com objetivo de verificar se a resposta de reflectância de sensoriamento remoto obtida pelo sensor TM era compatível com as medidas de fósforo total (mg/L), foi realizada a análise de correlação para estas duas variáveis.

Os resultados obtidos para a imagem 24/08/2004 referente à análise estatística da relação entre o fósforo total (“y”) e valores registrados nas bandas do sensor TM (“x”), mostraram que apenas para a banda 3 obteve uma boa correlação, apresentando dados de coeficiente de determinação (R^2) que indicam 89% no modelo de regressão. Já para a imagem de 14/08/2006 a banda que proporcionou melhor correlação foi a banda 4 apresentando um coeficiente de determinação (R^2) de 86%. Dessa forma pode-se notar que apesar da pequena diferença em valores de porcentagem da banda 3 de 2004 para a banda 4 de 2006, os níveis de correlação foram mais significativos na data onde há concomitância como a data de aquisição dos dados.

Através do mapa de espacialização gerado com a aplicação do modelo de regressão linear (Figura 2) foi possível observar que o comportamento do fósforo para a imagem de 24/08/2004 apresentou valores mais elevados nas regiões correspondentes ao rio (MAN 10) com uma distribuição acima de 0,013 mg/L.

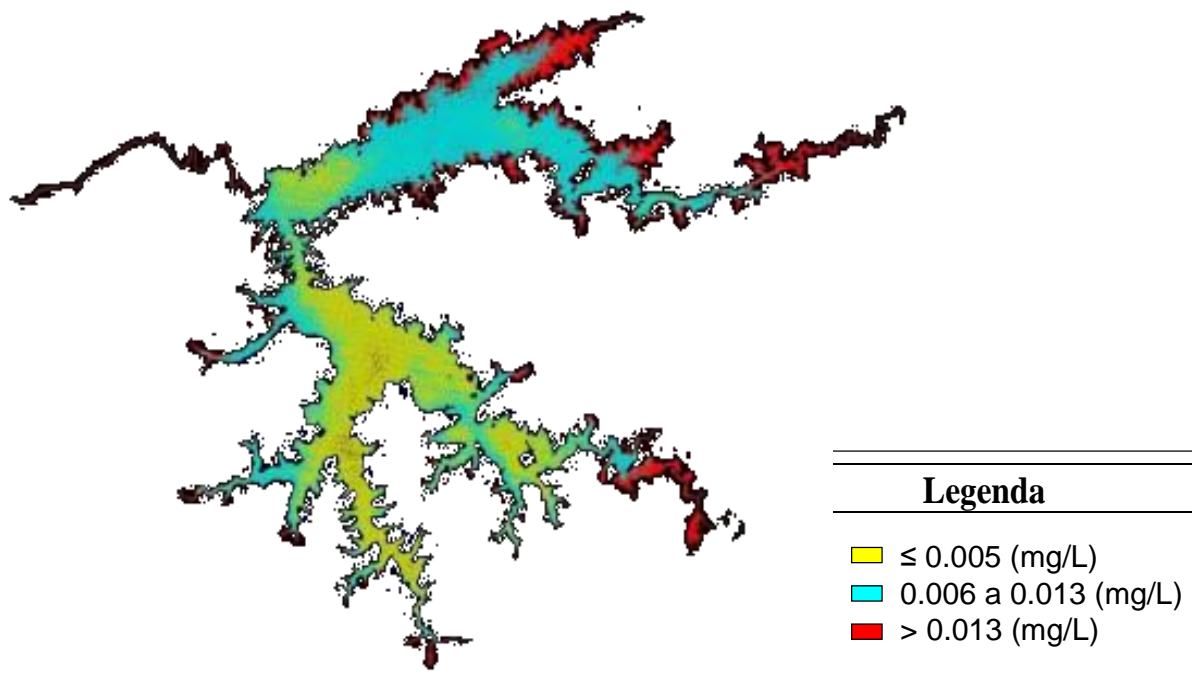


FIGURA 2. Mapa de distribuição da concentração de fósforo total no reservatório de Manso, no dia na estação da seca, para a equação de regressão linear obtida entre a concentração desse material medida na superfície das suas águas e a reflectâncias da banda 3/TM a 24/08/2004

Nas regiões de transição flúvio - lacustre (MAN20) e do corpo do reservatório (MAN 30) as concentrações de fósforo estiveram entre 0,06 mg/L a 0,013 mg/L e a estação QLB20 apresentou as mesmas variações de concentração. Nessa mesma região, MAN40, CSC30 e o CSC25, os valores ficaram entre 0,001 mg/L a 0,005 mg/L.

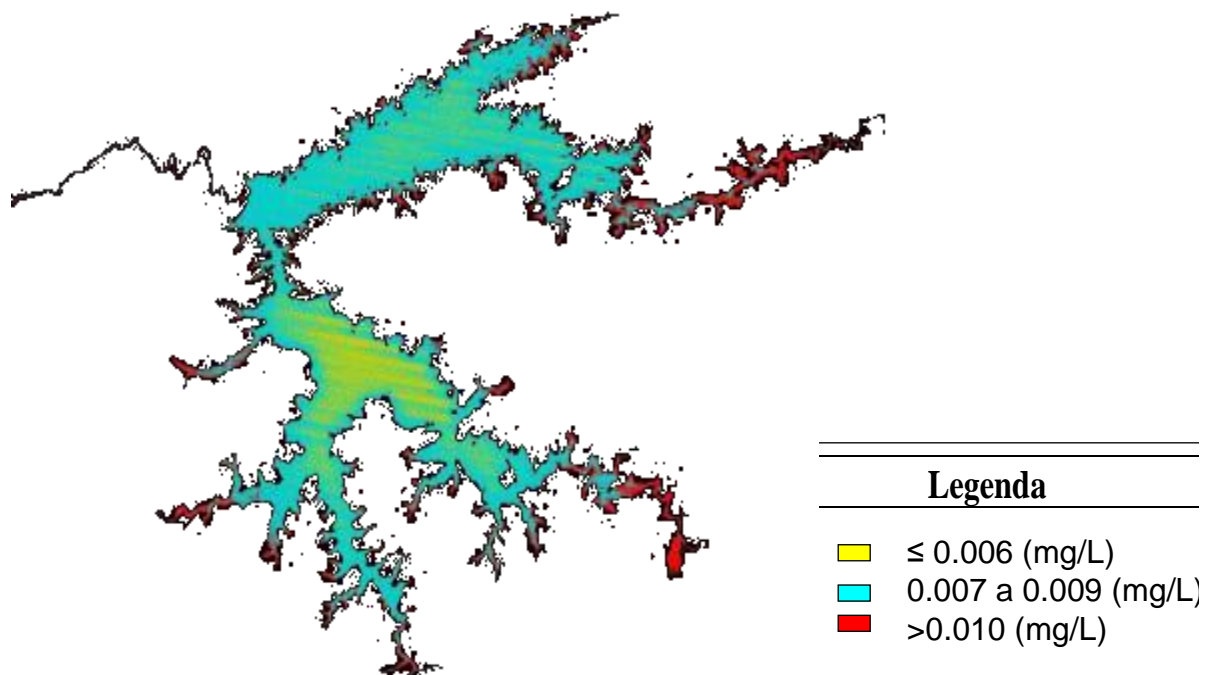


FIGURA 3. Mapa de distribuição da concentração de fósforo total no reservatório de Manso, na estação da seca, para a equação de regressão linear obtida entre a concentração desse material medida na superfície das suas águas e a reflectâncias da banda 4/TM do dia 14/08/2004.

Para a imagem de 14/08/2006 (Figura 3), os valores correspondentes ao ambiente lótico (MAN 10) possuem concentrações $> 0,010$ mg/L e a região de transição flúvio - lacustre (MAN20) entre 0,007 a 0,009 mg/L. As regiões MAN 30, MAN40, CSC30, CSC25 e CSC20 apresentaram concentração $\approx 0,006$ mg/L com uma distribuição mais uniforme em ambos os braços.

Foi observada tendência a menores concentrações de PT no sentido rio-barragem tendo em vista a influência que os ambientes lóticos exercem sobre o reservatório em um perfil longitudinal.

Diferentemente dos resultados obtidos por FIGUEIREDO (2007, p. 88), nesse estudo foram obtidos menores valores de PT em CSC30 (reservatório) e maiores no rio Casca (CSC10), observados através da espacialização do PT nas imagens Landsat5/TM. Essa discrepância se deve ao fato que FIGUEIREDO (2007) analisou a variação do fósforo na fase de enchimento e em nosso estudo são considerados os dados da fase de operação do reservatório.

Apesar das pequenas variações dos valores de fósforo do reservatório no período da estiagem verificou-se que houve um comportamento distinto entre o braço Norte - Manso devido aos maiores valores de fósforo em relação ao braço Sul - Casca (Figura 2). Comportamento este que corrobora com outros estudos que utilizaram metodologia similar como os realizados por ALVES *et al.* (2010) em seu estudo com dados de turbidez, sólidos suspensos e clorofila-a; e principalmente por OLIVEIRA-LOVERDE, *et al.* (2009), que ao realizar um estudo da variação espacial do fósforo total na fase de enchimento do Manso também obteve menores concentrações no braço Sul ($30 \mu\text{g L}^{-1}$ - Csc20) e maiores no braço Norte ($80 \mu\text{g L}^{-1}$ - Man20).

Através da imagem 14/08/2006, também foi possível observar que há um comportamento distinto entre os braços, porém, as concentrações de fósforo total entre as estações consideradas neste estudo, obtinham uma distribuição uniforme em relação o braço Norte (Manso) ao braço Sul (Casca).

Apesar das bacias hidrográficas do rio Manso e Casca, principais rios que formam o reservatório, serem semelhantes conforme a área de drenagem, por razões geológicas, as características principais dos regimes hídricos desses rios são distintas (NETO, *et al.* 1993, p.234), fazendo com que o fluxo de água corrente de cada braço seja diferente, mesmo na época de estiagem, interferindo dessa maneira na composição química da água. VALÉRIA, A.M. (2009) também ao realizar seu estudo no Manso percebeu que existem características limnológicas distintas entre os braços de entrada do rio para o reservatório.

Considerando a média das estações referentes ao braço Norte (rio Manso) e o braço sul (rio Casca) do reservatório durante a fase de operação (Tabela 1) o PT apresentou média de 0,02 mg/L no braço norte e 0,009 mg/L no braço Sul.

Segundo a classificação trófica de VON SPERLING (1994), as concentrações médias de fósforo total (Tabela 1), classificam a porção central de ambos os braços do reservatório como oligotrófico ($< 0,01$ mg/L a $0,02$ mg/L). Este resultado difere da fase de enchimento do reservatório, pois de acordo com FIGUEIREDO (2007), nesta época, o reservatório obteve em média no corpo central (MAN30, MAN40 e CSC30) a classificação eutrófica, com tendência a menores concentrações de PT no epilíminio, a partir de agosto (estiagem). Os resultados que caracterizavam o reservatório como eutrófico na fase de enchimento se deve aos intensos processos de decomposição da matéria orgânica durante esta etapa de formação dos reservatórios que ao longo do tempo podem ir se diferenciando em função da sua hidrodinâmica.

TABELA 1. Dados de fósforo T.(mg/L) utilizados para classificação do estado trófico Von Sperling (1994).

Estação	Data	P.T.(mg/L)	Estação	Data	P.T (mg/L)
MAN20	10-fev-04	0,07	CSC20	11-fev-04	0,02
MAN30	10-fev-04	0,02	CSC25	11-fev-04	0,01
MAN40	10-fev-04	0,02	CSC30	11-fev-04	0,01
MAN20	30-abr-04	0,02	CSC20	29-abr-04	0,02
MAN30	30-abr-04	0,01	CSC25	29-abr-04	0,02
MAN40	29-abr-04	0,01	CSC30	29-abr-04	0,01
MAN20	29-jun-04	0,01	CSC20	30-jun-04	0,01
MAN30	29-jun-04	0,01	CSC25	30-jun-04	0,01
MAN40	29-jun-04	0,01	CSC30	30-jun-04	0,01
MAN20	24-ago-04	0,013	CSC20	25-ago-04	0,005
MAN30	24-ago-04	0,006	CSC25	25-ago-04	0,004
MAN40	24-ago-04	0,005	CSC30	25-ago-04	0,005
MAN20	25-out-04	0,03	CSC20	27-out-04	0,02
MAN30	25-out-04	0,01	CSC25	27-out-04	0,01
MAN40	27-out-04	0,01	CSC30	27-out-04	0,01
MAN20	14-dez-04	0,024	CSC20	15-dez-04	0,009
MAN30	14-dez-04	0,007	CSC25	15-dez-04	0,005
MAN40	15-dez-04	0,005	CSC30	15-dez-04	0,031
MAN20	23-jun-05	0,01	CSC20	24-jun-05	0,01
MAN30	23-jun-05	0,01	CSC25	24-jun-05	0,01
MAN40	24-jun-05	0,01	CSC30	24-jun-05	0,01
MAN20	06-out-05	0,01	CSC20	05-out-05	0,01
MAN30	06-out-05	0,01	CSC30	05-out-05	0,01
MAN20	14-dez-05	0,005	CSC20	15-dez-05	0,002
MAN40	15-fev-06	0,005	CSC20	15-fev-06	0,012
MAN20	16-fev-06	0,03	CSC25	15-fev-06	0,009
MAN30	16-fev-06	0,006	CSC30	15-fev-06	0,008
MAN40	05-abr-06	0,005	CSC30	05-abr-06	0,006
MAN20	06-abr-06	0,028	CSC20	15-abr-05	0,01
MAN30	06-abr-06	0,005	CSC25	15-abr-05	0,01
MAN20	07-jun-06	0,032	CSC20	08-jun-06	0,005
MAN30	07-jun-06	0,008	CSC25	08-jun-06	0,005
MAN40	07-jun-06	0,005	CSC30	08-jun-06	0,003
MAN30	09-ago-06	0,002	CSC20	10-ago-06	0,005
MAN40	09-ago-06	0,003	CSC25	10-ago-06	0,003
MAN20	09-ago-06	0,009	CSC30	10-ago-06	0,006
MAN40	25-out-06	0,005	CSC30	26-out-06	0,003
MAN20	25-out-06	0,039	CSC20	26-out-06	0,006
MAN30	25-out-06	0,001	CSC25	26-out-06	0,003
MAN20	22-nov-06	0,041	CSC20	23-nov-06	0,007
MAN30	23-nov-06	0,026	CSC25	23-nov-06	0,001
MAN40	23-nov-06	0,002	CSC30	23-nov-06	0,005
Média		0,01			0,009

A classificação mais atual de oligotrofia (2004-2006) caracteriza o reservatório como de baixo prejuízo aos usos múltiplos em função da baixa eutrofização (VON SPERLING, 1994) que limita o crescimento do fitoplâncton, além de garantir o uso para abastecimento público e dessedentação de animais, entre outros usos.

Entre os trabalhos que classificaram os reservatórios segundo o estado trófico temos OLIVEIRA-LOVERDE, *et al.* (2009), que utilizando o índice trófico de NURBERG (1996), também classificou o reservatório de Manso como oligotrófico para os valores médios de fósforo no enchimento e estabilização. GUNKEL *et al* (2003) segundo os levantamentos de dados nos anos de 2002 e 2003 no reservatório de Tapacurá em Pernambuco, o considerou eutrófico, segundo vários fatores limnológicos entre eles o fósforo; HENRY *et al* (2004) em um pequeno reservatório urbano tropical - Lago das Garças localizado em São Paulo, obteve a média anual de fósforo total na água de superfície de 132 mg/L, indicando uma condição hipereutrófico, segundo o método de balanços de massas de fósforo.

Já entre estudos para o monitoramento das condições hídricas através do uso do modelo de regressão linear simples com os dados do satélite Landsat, podemos citar REIS, (2003) que ao gerar seus mapas a partir das regressões lineares nas banda 3 e 4, pode concluir que os resultados obtidos abrem uma grande perspectiva na utilização de imagens orbitais como ferramenta de análise da qualidade da água nesses reservatórios; SANTOS & DUBREUIL, (2009), ao mapear a distribuição temporo-espacial das concentrações do material sólido em suspensão nas águas superficiais do reservatório de Manso na banda 3 tanto para estação chuvosa quanto seca, concluíram que a utilização dessas 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, entre outros .

Como nos resultados obtidos para o PT no reservatório do Manso, os demais trabalhos obtiveram seus resultados através da precisão estatística dos dados de correlação para a espacialização dos indicadores de qualidade de água através do método de regressão.

Em relação aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 que fixa o nível máximo de concentração de fósforo total para corpos d'água de classe 2 em 0,030 mg/L, os dados médios desse nutriente tanto do braço Norte (Manso) quanto o braço Sul (Casca) do reservatório de Manso se enquadram dentro deste limite e portanto não compromete os usos requeridos da água.

Quanto à qualidade da água, tomando como base as médias do IQA que possui nove parâmetros (Coliformes totais, pH, DBO, Nitrogênio total, Fósforo Total, Temperatura da água, Turbidez, Oxigênio Dissolvido, Resíduos sólidos), os cálculos com os dados da (Tabela 2) tanto na estação chuvosa quanto seca, segundo a classificação (CETESB) foram classificados entre boa (52-79) e ótima (80-100) na estação chuvosa e boa (52-79) na seca. (Tabela 3).

Dentre vários estudos realizados em corpos hídricos com base em índices de qualidade de água que obtiveram resultados semelhantes ao do Manso, segundo a classificação do CETESB, temos autores como LUCENA (2009), LEITE & HERNANDEZ (2008), OLIVEIRA *et al.* (2007), PIASENTIN *t al.*, LUCENA *et al.* (2009), entre outros.

TABELA 2. Dados limnológicos disponibilizados por FURNAS e utilizados para os cálculos de IQA. Segundo CETESB (2011).

Estação	Data	Colif.T. (NMP/100 mL)	pH	DBO(mg L ⁻¹)	N.T.(mg L ⁻¹)	P.T(m g L ⁻¹)	Temp. água (°C)	Turbidez (UNT)	O.D (mg L ⁻¹)	Resíduo T. (mg L ⁻¹)
CSC30	27/10/04	1900	8,11	2	0,09	0,01	27,78	2,1	6,28	0,3
CSC30	01/09/05	4610	6,97	3	0,29	0,01	20,29	0,4	8,64	0,7
CSC30	05/10/05	2100	7,79	2	0,29	0,01	27,59	1,2	7,24	2,6
CSC30	10/08/06	3780	7,26	3	0,197	0,006	27,29	0,2	7,7	2,5
MAN40	01/03/04	1379	8,16	1	0,17	0,01	27,97	0,7	8,7	1,7
MAN40	26/07/04	3870	8,35	1	0,3	0,04	26,5	4,3	8,05	1,6
MAN40	27/09/04	1470	7,84	1	0,12	0,01	28,28	2,5	7,2	2,7
MAN40	27/10/04	1430	8,82	2	0,08	0,01	28,64	2,9	7	0,4
MAN40	11/05/05	4570	6,5	4	0,06	0,01	28,82	1,3	6,52	2,2
MAN40	24/06/05	1200	7,68	2	0,25	0,01	28,39	1,1	5,34	2,8
MAN40	20/07/05	2250	7,39	5	0,22	0,01	26	7	4,5	2,9
MAN40	12/07/06	8160	7,41	3	0,15	0,008	25,67	8,5	6,52	1,7
MAN40	09/08/06	17300	6,85	1	0,246	0,003	26,7	0,8	7,8	2,3
QLB20	30/06/04	4350	6,71	2	0,32	0,01	28,6	14,3	6,41	1,67
QLB20	27/10/04	529	7,82	2	0,08	0,02	28,71	1,8	6,42	2,88
QLB20	24/06/05	657	7,26	1	0,23	0,01	28,95	0,67	5,63	1,3
QLB20	15/12/05	65	7,55	2	0,24	0,001	29,46	4,9	6,05	1,9
QLB20	10/08/06	4810	6,2	1	0,272	0,004	25,4	0,4	6,25	1,6
QLB20	23/11/06	118	7,36	3	0,09	0,006	27,89	1,1	8,41	3,3

TABELA 3. Resultados do IQA em relação ao período chuvoso (Outubro a Abril), e seco (Maio a Setembro).

Período chuvoso			
Estação	Data	IQA	Classificação/ CETESB
CSC30	27/10/2004	69	Boa (52-79)
CSC30	05/10/2005	70	Boa (52-79)
MAN40	01/03/2004	72	Boa (52-79)
MAN40	27/10/2004	71	Boa (52-79)
QLB20	27/10/2004	74	Boa (52-79)
QLB20	15/12/2005	80	Ótima (acima79 -100)
QLB20	23/11/2006	80	Ótima (acima79 -100)
Período seco			
CSC30	01/09/2005	67	Boa (52-79)
CSC30	10/08/2006	68	Boa (52-79)
MAN40	26/07/2004	68	Boa (52-79)
MAN40	27/09/2004	72	Boa (52-79)
MAN40	11/05/2005	64	Boa (52-79)
MAN40	24/06/2005	69	Boa (52-79)
MAN40	20/07/2005	60	Boa (52-79)
MAN40	12/07/2006	63	Boa (52-79)
MAN40	09/08/2006	64	Boa (52-79)
QLB20	30/06/2004	64	Boa (52-79)
QLB20	24/06/2005	72	Boa (52-79)
QLB20	10/08/2006	64	Boa (52-79)

CONCLUSÃO

O índice de qualidade de água (IQA) do reservatório de Manso obteve resultados entre boa e ótima e o estado trófico foi definido como oligotrófico, dados até então favoráveis, pois demonstram que a qualidade da água não oferece riscos à saúde da população, se enquadrando dentro dos limites estabelecidos para corpos d'água de classe 2 com reduzido nível de trofia quando considerados os valores de fósforo total.

Através do uso do sensoriamento remoto foi possível observar que durante o período considerado nesse estudo o nutriente fósforo na água do reservatório do Manso apresentou variações quando comparados do braço Norte (Manso) para o braço Sul (Casca) na imagem de 2004, porém as diferenças nas concentrações não foram representativas espacialmente classificando ambas as imagens e os respectivos braços como oligotróficos. Os valores de fósforo total obtidos para as datas das imagens do mês de agosto (época da estiagem) tanto em 2004 como em 2006, apresentaram concentrações mais elevadas nos braços de entrada dos rios (Manso e Casca), e conseqüentemente foi obtido na região central do reservatório valores inferiores.

O uso do sensoriamento remoto mostrou-se como uma ferramenta eficaz na avaliação e monitoramento hídrico do reservatório de Manso uma vez que forneceu informações sobre a dinâmica trófica e qualidade da água.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BASTOS, R. K. X. Impactos da construção de centrais hidrelétricas relacionados com a água: pressupostos para a avaliação e proposição de medidas mitigadoras. In: Simpósio Brasileiro de

- Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas, 1., 1998, Poços de Caldas. Anais... São Paulo: CMGB, 1998. p.63-75.
- CONAMA. **Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005.** Conselho Nacional do Meio Ambiente - Publicada no DOU nº 53, de 17 de março de 2005, p.10.
- CORSEUIL, C.W. *et al.* Distribuição espacial do índice de qualidade da água e a relação com o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Ratoles. In: anais XIV Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto, Natal, Brasil, 25-30 Abril de 2009, INPE, p.3673-3680.
- CORAZZA, R. **Relações entre variáveis espectrais e limnológicas no reservatório da usina hidrelétrica dona Francisca-RS**, 2010. Dissertação (mestrado em geografia). Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil, 2010.
- CRUZ, R. F. **Avaliação Limnológica do rio Manso na fase de Enchimento do Reservatório-APM Manso, Estado de Mato Grosso. Cuiabá, MT:** Ins. Biociências, Universidade Federal de Mato Grosso, 2000, 43p. Trabalho de Conclusão de Curso.
- DIAS, N. W. *et al.* Sensoriamento remoto para a caracterização do aporte de sedimento e compostos orgânicos da Represa de Paraibuna, São Paulo. Ciências agrárias (Ciências Especiais), 2005.
- ENNES, R. & GALO, M.L.T. Simulação espectral de dados multiespectrais d comportamento espectral de um corpo d'água a partir de dados hiperespectrais. Anais III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife-Pernambuco, 27-30 de Julho de 2010. p.001-006.
- FERREIRA, M.S. *et al.* Um estudo da distribuição espacial de pigmentos totais na planície de inundação do Alto Rio Paraná a partir de imagens multiespectrais. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5211-5218.
- FIGUEIREDO, D. M. **Padrões limnológicos e do fitoplâncton nas fases de enchimento e de estabilização dos reservatórios do APM Manso e AHE Jauru (Estado de Mato Grosso).** 2007. 270p. Dissertação (Doutorado em Ecologia). Centro de Ciências Biologia e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007
- GUNKEL,G. *et al.* Estudos da limnologia do reservatório de Tapacurá em Pernambuco: problemas da gestão de reservatórios no semi-árido Brasileiro. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba 2003, Brasil.
- HENRY, R. CARMO, C.F & BICUDO, D.C. Status trófico de um reservatório urbano brasileiro e prognóstico sobre a recuperação da qualidade da água. In: Acta.Limnol.Brasil 16(3):251-262, 2004.
- LIBOS, M.I.P.C. **Modelagem Hidrológica Quali-Quantitativa: Estudo de Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Manso - MT.** 2008. Dissertação (Doutorado em ciências em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.
- LIMA, D.L. **Sensoriamento remoto e geostatística na caracterização espaço temporal de plantas aquáticas.** 2006. Dissertação (Mestrado em ciências cartográficas), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de ciências e tecnologia, Campus de Presidente Prudente, 2006.
- LOPES, I.R. **Avaliação limnológica do primeiro ano de enchimento do reservatório de Manso (MT): perfil da estação de coleta próxima à barragem.** Cuiabá, MT: Inst. De Biologia, Univ. Fed. de Mato Grosso, Cuiabá, MT, 2003. Trabalho de Conclusão de Curso.
- LUCENA, R.B. *et al.* Qualidade da água de Reservatórios nas distintas zonas climáticas da Paraíba. Mercator - Revista de Geografia da UFC, ano 07, número 14, 2009.

MANTOVANI, J.E. **Comportamento espectral da água: faixas Espectrais de maior sensibilidade ao fitoplâncton. Na presença de matéria orgânica dissolvida e de Matéria inorgânica particulada**, 1993. Dissertação (mestrado em Sensoriamento Remoto), São José dos Campos: INPE, 1993.

NASSER, V.S. **Estudo da qualidade de água na Baía de Guanabara utilizando técnicas de sensoriamento remoto e análise de geostatística**, 2001. Dissertação (Mestrado em ciências de engenharia civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.

NETO, M.S.S. *et al.* Caracterização hidrogeoquímica da Bacia do Rio Manso-Cuiabá, Mato Grosso. São Paulo, SP: *Acta Limnol. Brasil.*, 1993, n. 4, p. 230-244.

NOVO, E. M. & LEITE, F. O Sistema de Informações Geográficas do Reservatório da UHE Barra Bonita. Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Brasil, 1996, INPE, p. 227-232

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.

OLIVEIRA-LOVERDE, S., SANTOS, J.W.M.C.& SOUZA, P.W. Uso de geotecnologias para avaliar a relação entre cobertura da terra e dinâmica de nutrientes na água do reservatório Manso (MT). Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá, 7-11 novembro 2009, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.443-451.

PEREIRA, R; SCHÄFER, A. E.; WÜRDIG, N.L. Aplicabilidade de métodos de sensoriamento na avaliação e monitoramento do estado trófico de lagoas costeiras do Rio Grande do Sul (RS). 2007. Revista: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p.3513-3520.

PIASENTIN, A.M. *et al.* Índice de qualidade de água (IQA), do reservatório Tanque Grande, Guarulhos São Paulo: Análise Sazonal e efeitos do uso e ocupação do solo. Revista Geociências, v. 28, n. 3, p. 305-317, 2009.

PRADO, R. B. **Geotecnologias aplicadas à análise espaço temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos. São Carlos, São Paulo**, 2004. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2004.

PRADO, R. B.; NOVO, E. M. L. M. Aplicação de geotecnologias na modelagem do potencial poluidor das sub-bacias de contribuição para o reservatório de Barra Bonita - SP relacionado à qualidade da água. In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p.3253-3260.

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. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril 2003, INPE, p. 2569 - 2577.

RENÓ, V.F. *et al.* Caracterização espectral das águas da Planície do Rio Paraná a partir de imagens Landsat TM. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 4821-4828.

RIBEIRO FILHO, R. A. **Relações tróficas e limnológicas no reservatório de Itaipu: uma análise do impacto da biomassa pesqueira nas comunidades planctônicas**. 2006. 70f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. p.36 e 101.

RODRIGUEZ, M. P. **Avaliação da qualidade da água da bacia do alto Jacaré-Guaçu/SP (Ribeirão do Feijão e Rio do Monjolinho) através de variáveis físicas químicas e biológicas**, 2001. Dissertação (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2001. p.43-67.

SALGADO, M.I.H. **Determinación de la variabilidad espacio temporal de tres lagos someros sometidos al pulso de inundación en el pantanal de Mato Grosso, Brasil**, 2011. Tese (Mestrado em gestão ambiental de sistemas hídricos). Escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos. Universidad de Cantabria, 2011.

SANTOS, J.W.M. C & DUBREUIL, V. 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. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 Abril de 2009, INPE, pg. 5421-5428.

SILVA, S.C. *et al.* Caracterização limnológica das águas superficiais do reservatório Billings (São Paulo-SP). Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil, 23 a 28 de Setembro de 2007, Caxambu - MG.

TRENTIN, A. B. **Sensoriamento remoto e limnologia na caracterização da água do reservatório Passo Real - RS**, 2009. Dissertação (Mestrado em geografia). Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2009.

TUNDISI, J. G. TUNDISI, T. M. Composição Química da água. In: TUNDISI, J. G. TUNDISI, T. M. Limnologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 96 - 120.

TUNDISI, J. G. TUNDISI, T. M. Represas Artificiais. In: TUNDISI, J. G. TUNDISI, T. M. Limnologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 320.

VALERIO, A. M. **O uso do sensoriamento remoto orbital e de superfície para o estudo do comportamento do corpo de água do reservatório de Manso, MT, Brasil**, 2009. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.

VALÉRIO, A.M., STECH, J.L. & KAMPEL, M. Compartimentação do Reservatório de Manso, MT, Brasil. Acta Limnol. Bras., 2009, vol. 21, no. 3, p. 293-298.

WACHHOLZ, FLAVIO. **Compartimentação aquática do reservatório Rodolfo Costa e Silva-RS, a partir de variáveis limnológicas e imagens orbitais**, 2007. Dissertação (mestrado em geografia) Área de Concentração em Análise Espacial e Dinâmica Espacial, da Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2007.

ZANINI, H. H. T. *et al.* Caracterização da água da microbacia do córrego rico avaliada pelo índice de qualidade de água e de estado trófico. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.30, n.4, p.732-741, jul./ago. 2010.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. DESA-UFMG. 1996.