

Aplicação da técnica SAM (*Spectral Angle Mapper*) para dados hiperespectrais do corpo de água do reservatório de Manso, MT.

Aline de Matos Valério¹
Milton Kampel¹
José Luiz Stech¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{alineval,milton,stech}@dsr.inpe.br

Abstract. The remote sensing applied to the water color monitoring offers important information about the components that are present in the water, like: organic substances, phytoplankton, suspension sediments and pure water. Their optical properties are distinguished when they interact to the electromagnetic radiation, showing their spectral signature. The spectral angle mapper (SAM) it's a common technique used in mineral and vegetation spectrums and just recently has been used in water's body. This assessment had the aim to apply the SAM technique to the spectrums collected by Fieldspec device in Manso's reservoir water. Also it was collected *in situ* measures that were used to compare the results. Manly it was possible to distinguish two types of water: (1) with prevalence of organic substances in the body of the reservoir; and (2) with prevalence of sediments in suspension in the Manso's river. This study also had the purpose to simulate the Modis band. The hyperspectral bands of the Fieldspec were simulated using the software ENVI 4.4 and the result shows that the smooth of the curves may be the responsible for the confusion of the types of water. This work was successful using the SAM technique and shows that this technique can be a useful tool for classify the types of water.

Palavras chave: reservatório, Spectral Angle Mapper (SAM)

1. Introdução

O sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento da qualidade da água é realizado pelo emprego de sistemas sensores passivos. Um dos objetivos do sensoriamento remoto da cor da água (SRCA) é estimar quantitativamente informações sobre os constituintes dos corpos de água. A interação entre os constituintes opticamente ativos (COA) é responsável pelo comportamento espectral da radiação eletromagnética que é refletida ou que penetra em um sistema aquático. O SRCA se baseia na análise de variações na magnitude e qualidade espectral da radiação emergente da água para obter informações quantitativas sobre o tipo de substâncias presentes naquele meio e suas respectivas concentrações (Kampel e Novo, 2005).

A água é denominada pura quando é considerada a ausência de outras substâncias que não as próprias moléculas da água. Desta forma, os comprimentos de ondas menores tendem a sofrer espalhamento, o que caracteriza sua cor azul. A presença de outras substâncias no corpo d'água acarreta na mudança da cor da água. Sendo assim, três componentes principais são responsáveis por essa alteração: (a) Fitoplâncton que apresentam os pigmentos responsáveis por realizar a fotossíntese, interagindo com a radiação eletromagnética (REM) na faixa denominada de fotossinteticamente ativa. Inclui também outros organismos microscópicos apesar destes não influenciarem tanto sobre as propriedades ópticas quanto o fitoplâncton; (b) material inorgânico em suspensão: apresenta alto índice de refração quando comparado com partículas orgânicas e dominam a radiação retroespalhado pelo conjunto de partículas em suspensão; (c) material orgânico dissolvido: resultante dos processos de decomposição de matéria orgânica. Os compostos dessas substâncias absorvem a REM nos comprimentos de ondas próximo ao azul, tornando a cor d'água amarelada (Kampel e Novo, 2005; IOCCG, 2000)

A resposta espectral da água é, portanto, um conjunto de respostas espectrais de seus COA. Deste modo, o conhecimento da contribuição de cada componente pode se tornar uma

tarefa complexa, uma vez que, esses componentes podem apresentar comportamentos antagônicos numa mesma faixa espectral como ocorre na faixa de 680 nm, onde há um forte pico de absorção por clorofila-*a* e por outro lado, há espalhamento da REM por sólidos inorgânicos em suspensão (Dekker, 1993).

A técnica do mapeamento por ângulo espectral – SAM, do inglês *Spectral Angle Mapper*, está sendo amplamente utilizada em estudos mineralógicos e da vegetação, mas apenas recentemente vem sendo aplicada em estudos de corpos d'água. O objetivo desta técnica é determinar o grau de similaridade entre curvas espectrais geradas por sensores com grande número de bandas, ou entre estas curvas e curvas de referência disponíveis em uma biblioteca espectral (Barbosa, 2005). A classificação por ângulo espectral é realizada por um algoritmo que determina a similaridade espectral entre dois espectros calculando o ângulo entre eles em todas as bandas espectrais, tratando os espectros como vetores em um espaço de dimensionalidade igual ao número de bandas espectrais (Novo, 2008). Assim, as amostras serão classificadas a partir da mínima distância entre ela e o espectro de referência.

Uma característica importante do SAM é que ela não é sensível a diferenças de amplitude entre os espectros, e está relacionada somente com a forma do espectro (Novo, 2008). A performance do algoritmo depende da escolha do conjunto de espectros de referência. Conforme mostrado na Figura 1, os ângulos são tratados como vetores no espaço n-dimensional.

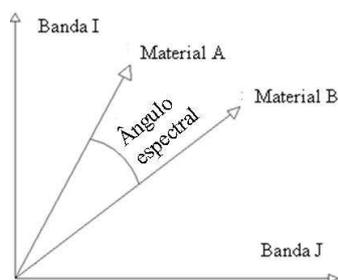


Figura 1. Ilustração do ângulo espectral entre curvas espectrais de dois materiais diferentes (A e B) medida pela técnica de mapeamento por ângulo espectral.

Fonte: Guia ENVI, Sulsoft, 2006.

A técnica SAM pode ser útil nos estudos espectrais dos corpos d'água uma vez que massas de água opticamente diferenciáveis podem ser agrupados pela angulação das curvas espectrais e possíveis padrões de distribuição das características limnológicas podem ser revelados. Além disso, essa técnica tem a vantagem de permitir a análise dos espectros independentemente da intensidade da radiação medida, o que tende a minimizar as interferências dos fatores de aquisição de dados (Denniso et al., 2004).

Assim, o objetivo deste trabalho é agrupar espectros radiométricos adquiridos no reservatório de Manso em março de 2008, utilizando a técnica SAM de modo a demonstrar o potencial de aplicação desta técnica em estudos limnológicos de qualidade da água.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de estudo

O Rio Manso, onde foi construído o reservatório hidrelétrico, é o principal formador do Rio Cuiabá. O reservatório está localizado no norte de Cuiabá, MT na área compreendida pelas seguintes coordenadas: 14°14' – 15°20'S e 55°20' – 60°00'O a 100 km da capital Cuiabá (Figura 2). O reservatório possui uma área total inundada de 427 km², volume de 7,3 x 10⁸ m³ e uma profundidade próxima à barragem de 60 m aproximadamente e foi criado entre novembro de 1999 e fevereiro de 2000.

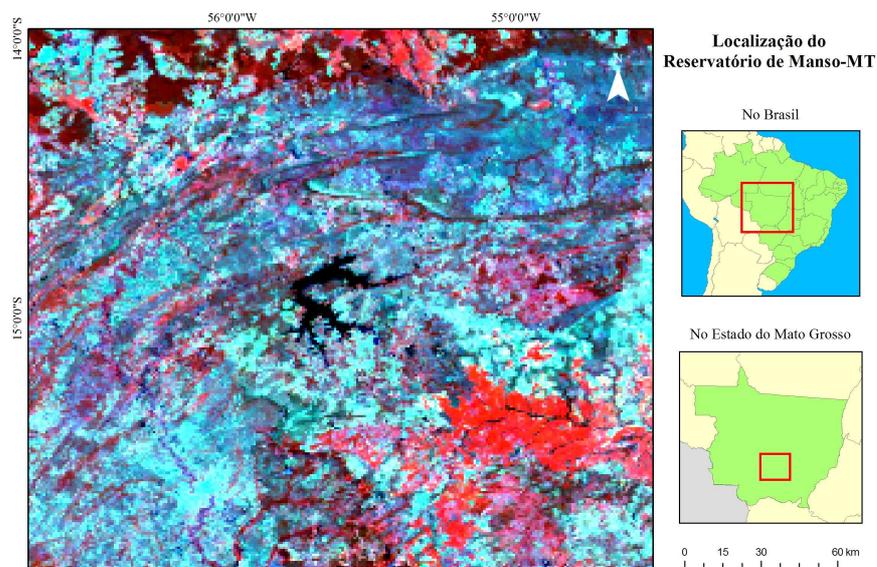


Figura 2. Localização do Reservatório de Manso no Estado do Mato Grosso, Brasil. Imagem MODIS de 27/04/2007, composição RGB (858 nm/1240 nm/648 nm)

O clima tropical da área possui duas épocas distintas: seca de abril a agosto e chuvosa de setembro a março. A paisagem ao redor do reservatório é dominada por morros arenosos cobertos por uma vegetação arbustiva resistente a seca e algumas árvores esparsas. A área inundada é formada principalmente por uma vegetação arbustiva embora algumas áreas apresentassem fragmentos de matas ciliares. Essas árvores deixadas nas áreas inundadas estão parcialmente submersas na água e sofrem uma decomposição gradual. Esse material orgânico usa oxigênio durante a decomposição o que influencia a biota do reservatório (Hylander et al. 2006).

2.2 Método

Dados radiométricos acima da superfície da água foram coletados em 14 pontos localizados na área de estudo em março de 2008 (Figura 3). O espectroradiômetro Field-Spec HH da ASD utilizado opera na faixa espectral 325 a 1075 nm com intervalo de 1 nm. As medidas de radiância foram obtidas sobre a superfície da água a uma altura aproximada de 1,5 metro e orientadas de modo a evitar a reflexão especular do sol bem como, sombras da embarcação.

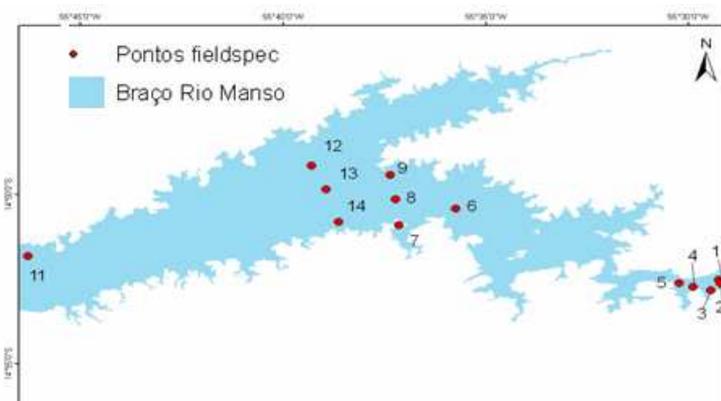


Figura 3. Pontos de coleta no reservatório de Manso.

Os espectros foram submetidos ao processo de filtragem para remoção de ruídos, com filtros de média de 3, 7 e 13 pontos com objetivo de extrair mais informações sobre o

conjunto de amostras analisado. Além disso, os espectros também foram agrupados de modo a simular as bandas do MODIS para observar as diferenças do SAM aplicado a bandas hiperespectrais (Field-Spec) e multiespectrais (MODIS). A simulação das bandas foi realizada utilizando o *software* ENVI 4.4.

Ainda não existe uma biblioteca espectral para tipos de águas continentais tropicais (Carvalho et al., 2003) e devido a dificuldade de encontrar, dentro das amostras, curvas espectrais bem definidas para servir como referência, foram utilizadas 4 curvas de referência obtidas por Barbosa ^{1****} (dados não publicados) que foram validadas por coleta in situ de parâmetros limnológicos (Tabela 1). Essas curvas foram coletadas nas áreas alagáveis da bacia do Rio Amazonas na região de Santarém/PA. A escolha das referências foi subjetiva e realizada a partir da análise dos gráficos das curvas espectrais que fossem representativas para quatro classes de água distintas: água clara, água com predomínio de matéria orgânica dissolvida (M.O.), água com predomínio de matéria inorgânica em suspensão (sed.) e água com predomínio de fitoplâncton. Para analisar os gráficos foi utilizado como base o trabalho realizado por Rudorff et al (2006), que determinam os COAs de um corpo de água amazônico utilizando o sensor Hyperion (Figura 4).

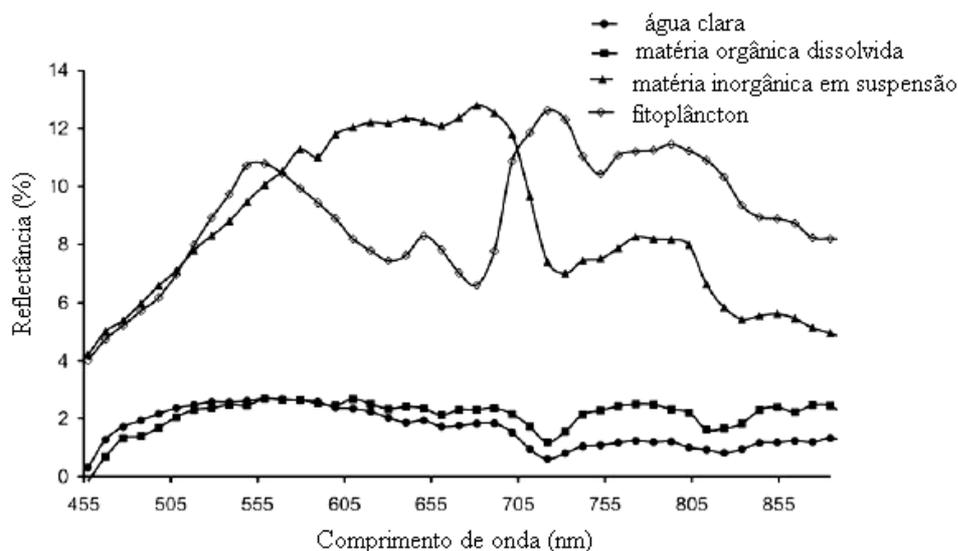


Figura 4. Curvas espectrais dos *endmembers* determinados pelo Hyperion em águas dominadas por COAs. Fonte: Rudorff et al (2006)

Como pode ser observado na Figura 4, as águas claras apresentam baixa concentração de COAs e, portanto a sua reflectância é baixa. A matéria orgânica dissolvida tem maior absorção em comprimentos de ondas menores e tem um pequeno aumento na reflectância na região do vermelho e infravermelho próximo. A presença de fitoplâncton na água mostra dois picos na reflectância sendo um na região do verde e outra próxima a 700 nm. O espectro de águas dominadas por matéria inorgânica em suspensão é caracterizado por uma reflectância por todo o infravermelho próximo, mas principalmente entre os comprimentos de onda 580-680 nm. Sendo assim, os espectros de referência escolhidos são (Figura 5):

¹ *Barbosa, C.C.F. (INPE). Curvas espectrais e dados limnológicos coletados nas áreas alagáveis da bacia do Rio Amazonas na região de Santarém/PA. Dados não publicados. São José dos Campos: 2007.

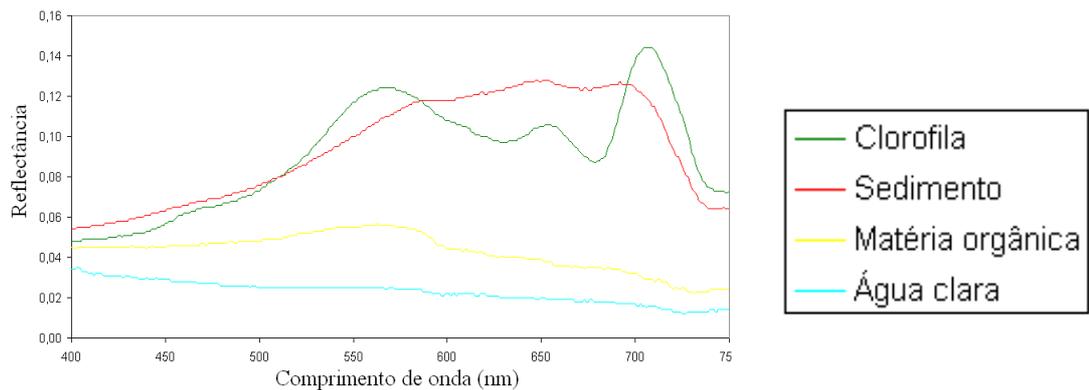


Figura 5. Curvas espectrais utilizadas como referência para aplicação da técnica SAM.

Para validar estes espectros, os seguintes dados limnológicos foram coletados (Tabela 1):

Tabela 1. Dados limnológicos dos pontos utilizados como curvas de referência: CE – Condutividade Elétrica; OD – Oxigênio Dissolvido; Secchi – Disco de Secchi; Fluor – Fluorímetro.

Tipo	pH	CE (uS/cm)	Turbidez (UTN)	OD (mg/l)	Secchi (cm)	Fluor	Chl-a (ug/l)
Clorofila	7.50	0.002	110	4.80	20	157	114.0
Sedimento	8.50	0.050	166	8.70	25	111	-
Matéria Orgânica	7.00	0.010	2	8.27	400	60	-
Água Clara	7.00	0.008	2	8.00	400	78	7.0

As curvas espectrais a serem classificadas são mostradas na Figura 6, onde pode ser observado que elas não apresentam uma característica de COA bem definida, sendo provavelmente uma mistura deles.

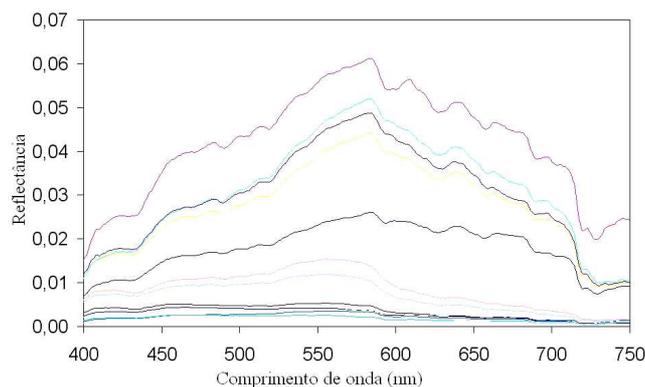


Figura 6. Curvas espectrais coletadas em campo a serem classificadas pela técnica SAM.

Também foram realizadas medidas *in situ* da clorofila e do coeficiente de atenuação da luz (k) utilizando o perfilador subaquático denominado Satlantic.

3. Resultados e Discussão

Na Figura 7 observa-se o resultado dos agrupamentos realizados para os filtros de 3, 7 e 13 pontos, a distribuição deu-se igual. Apenas para a simulação das bandas do MODIS o agrupamento foi distinto.

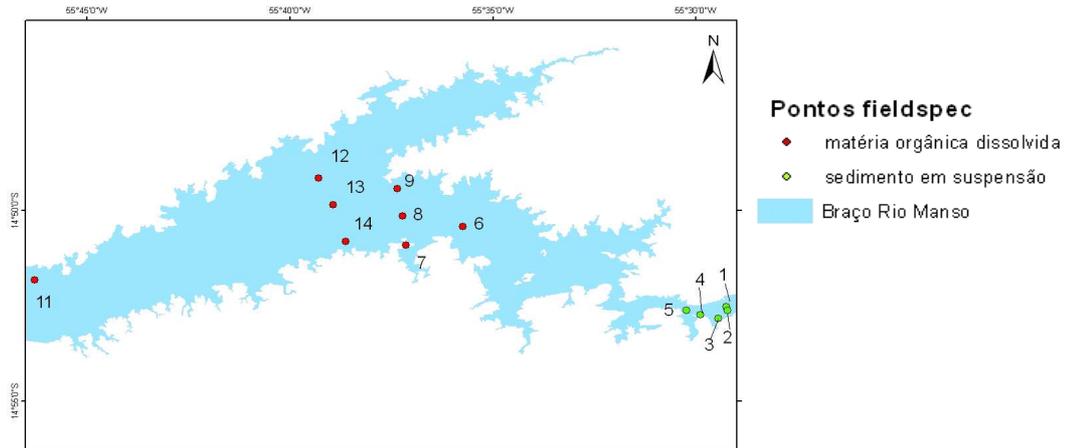


Figura 7. Agrupamento resultante dos espectros do fieldspec com filtros de 3, 7 e 13 pontos.

Deste modo observa-se que próximo ao rio Manso, as águas se separam em dois grupos, sendo um presente no rio Manso onde predomina o sedimento em suspensão provavelmente devido o carreamento dos sedimentos pelas águas do rio. O outro grupo de água se encontra mais no interior do reservatório e tem como predomínio a matéria orgânica dissolvida. Isso pode ser devido ao grande número de árvores que estão submersas no local devido o enchimento do reservatório (Figura 8). Na Figura 9, as curvas espectrais foram agrupadas de acordo com os tipos de água tidos como referência. E nota-se que as curvas espectrais amostradas do reservatório de Manso não apresentam curvas espectrais tão nítidas como as utilizadas como referência, mas ainda assim foi possível classificá-las.



Figura 8. Presença de árvores submersas no reservatório de Manso.

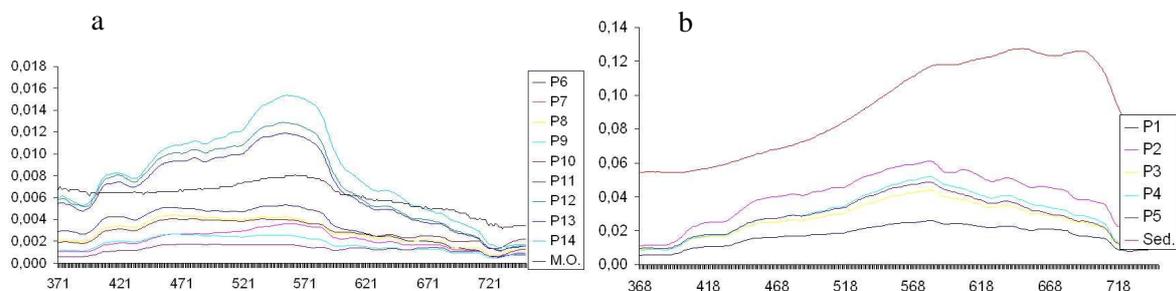


Figura 9. EEMs agrupados de acordo com os tipos de água tidos como referência: (a) água com predominância de matéria orgânica; (b) água com predominância de sedimento em suspensão.

Como pode ser observado na Tabela 2, o coeficiente de atenuação da luz é maior nos pontos que se encontram no braço do rio Manso e menor no interior do reservatório. Este fato condiz com o do agrupamento das EEMs, pois no braço do rio, devido ao carreamento de sedimentos, a profundidade óptica é menor.

Tabela 2. Valores *in situ* de k e clorofila (mg/L) para os pontos amostrados.

Pontos	K	Chl (mg/L)
P1	0,93	4,89
P2	0,92	4,48
P3	1,28	6,85
P4	0,98	4,36
P5	0,89	3,25
P11	0,61	0,09
P12	0,64	3,16
P13	0,71	4,41
P14	0,82	0,24

Ao simular as curvas de referência como bandas do sensor MODIS, nota-se que os detalhes das curvas são suavizadas e pouco se nota o pico da clorofila no infravermelho próximo (próximo a 700 nm). Ainda assim é possível diferenciar os tipos de água (Figura 10).

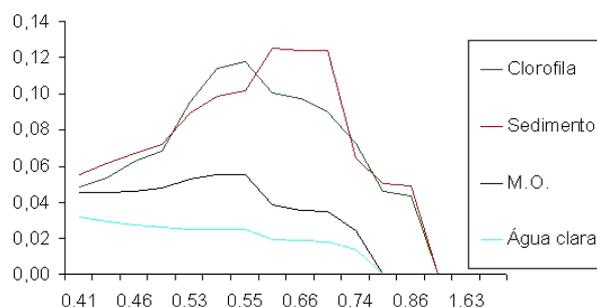


Figura 10. EEMs de referência simulados para as bandas do sensor MODIS.

Devido a essa suavização das curvas o resultado diferenciou-se em relação aos dados hiperespectrais do sensor Fieldspec. Aplicando a técnica do SAM a esses espectros, os pontos de 1 ao 5 foram classificados como de predominância de clorofila em vez de sedimento em suspensão, como observado anteriormente. Assim como o ponto 10 também foi classificado como de predominância de clorofila em vez de matéria orgânica dissolvida. Os outros pontos (06, 07, 08, 09, 11, 12, 13 e 14) foram classificados como água com predominância de matéria orgânica como a classificação realizada anteriormente com os dados hiperespectrais (Figura 11).

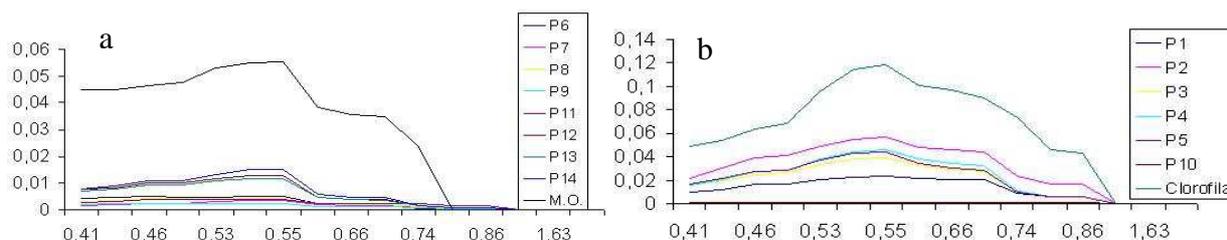


Figura 11. EEMs agrupados de acordo com os tipos de água tidos como referência após a simulação das bandas do MODIS: (a) água com predominância de matéria orgânica dissolvida, (b) água com predominância de fitoplâncton. .

Esse resultado pode ser devido à suavização das curvas que acaba descaracterizando a predominância dos COAs na água. Além disso, as curvas dos espectros coletados em campo não apresentaram características nítidas (Figura 6). Dessa forma foi possível observar que havia uma grande mistura dos COAs, inclusive a presença de fitoplâncton como foi amostrada pela simulação de EEMs para as bandas MODIS. Este fato pode ser confirmado ao observar a tabela 2, a qual mostra que, no braço do rio Manso há uma maior concentração de clorofila que no interior do reservatório.

4. Conclusões

A técnica SAM demonstrou ser uma ferramenta muito útil para agrupar os EEM e distinguir os corpos de água do reservatório de acordo com a predominância dos COAs. Já a simulação de bandas do MODIS não obteve um resultado satisfatório devido a suavização das curvas, o comportamento dos componentes opticamente ativos foram descaracterizados. Foi possível caracterizar o reservatório com o predomínio de águas de dois tipos principalmente: na região do Rio Manso como sendo uma água com sedimentos em suspensão e no meio do reservatório como água rica em matéria orgânica o que foi confirmado com dados in situ por meio do coeficiente de atenuação (k).

Referências Bibliográficas

Carvalho, J.C.; Barbosa, C.; Novo, E.M.; Mantovani, J.E.; Melack, J.; Filho, W.P. Applications of quantitative analyses techniques to monitor water quality of Curuai Lake, Brazil. **IEE**.2003. p. 2362-2634.

Dekker, A.G. **Detection of optical water quality parameters for eutrophic waters by high resolution remote sensing**. 1993. PhD teses, Free University, Amsterdam, 1993.

Denniso, P.E; Halligan, K.Q; Roberts, D.A. A comparison of error metrics and constraints for multiple endmember spectral mixture analysis and spectral angle mapper. **Remote Sensing of Environ**. vol. 93, 2004, p. 359-367.

GUIA DO ENVI em Português, Sulsoft, 2006.

Hylander, L.D., Gröhn J., Tropp M., Vikström A., Wolpher H., Castro e Silva E., Meilie M., Oliveira L.J. Fish mercury increase in Lago Manso, a new hydroelectric reservoir in tropical Brazil. **Journal of Environmental Management** v.81, p.155-166, 2006.

IOCCG. Remote sensing of ocean colour in coastal, and other optically-complex waters, Report Number 3. In: Stuart V. (Ed.). **Report of the international ocean-colour coordinating group**. Dartmouth: MacNab Print,2000.139 p.ISSN (1098-6030).

Kampel, M.; Novo, E.M.L.M. O Sensoriamento Remoto da cor da água. In: Souza, R.B. (Org). **Oceanografia por Satélites**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005, cap. 12, p. 179-196.

Novo, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 3 ed. São Paulo: Blucher, 2008.

Rudorff, C.M., Novo, E.M.L.M., Galvão, L.S. Spectral mixture analysis for water quality assessment over the Amazon floodplain using Hyperion/EO-1 images. **Revista Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. v.1 (2).p.65-79, 2006.