

Caracterização das Águas da Represa de Paraibuna com o Uso de Dados Hiperespectrais

Nelson Wellausen Dias ¹
Elisabete Caria Moraes ²
Evlyn Marcia Leão de Moraes Novo ²
Egídio Arai ²
Celso de Souza Catelani ¹

¹ Universidade de Taubaté – UNITAU/LAGEO
Estrada Dr. José Luiz Cembranelli, 5000, Taubaté, SP, 12081-010, Brasil
{nelson, celso}@agro.unitau.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Av. dos Astronautas, 1758– 12.227-010 – São José dos Campos, SP, Brasil
{bete, egidio, evlyn}@ltid.inpe.br

Abstract: The objective of this study is to establish relationships between high resolution spectral signatures of water features and measured limnological variables in the Paraibuna Reservoir, State of São Paulo, Brazil. A selected portion near the dams of this 224 sq. km reservoir formed by two rivers, Paraibuna and Paraitinga, was studied. Spectral analysis results indicate that suspended solids occurred in relatively lower concentrations and green algae occurred dispersed through the water column when compared to published reference spectral response curves. However, a clear absorption feature centered at 628 nm suggests the presence of cyanobacteria during the sample period based on published results. The distribution of cyanobacteria in the western portion of the study area was determined based on the locations and spectral patterns of sampled points. Future research is needed in order to answer some key questions proposed by this research.

Palavras-chave: hyperspectral remote sensing, water quality, dam, comparative spectral analysis, sensoriamento remoto hiperespectral, qualidade de água, represa, análise espectral comparativa.

1. Introdução

O estudo da dinâmica de matéria e energia que atuam no ambiente aquático lântico, como lagos e represas, é fundamental para se conhecer as características de qualidade e quantidade de água presentes em um dado momento e para planejar ações de uso sustentável destes recursos. A capacidade armazenar água por um reservatório tende a diminuir com o passar do tempo em função do assoreamento causado pelo aporte de sedimentos providos dos rios que o alimentam. Da mesma forma, a qualidade da água armazenada num reservatório depende das condições de circulação física da massa de água, do aporte de nutrientes e contaminantes pelos rios e pelas margens, e das condições climáticas da região onde ele se localiza. Estes fatores somados podem levar à criação de condições eutróficas no reservatório, o que coloca em risco a manutenção da vida aquática e o uso deste recurso para o abastecimento humano. O aporte de nutrientes e poluentes está relacionado com as características de uso de cobertura do solo das bacias tributárias que alimentam o reservatório. Portanto, o conhecimento das características de uso e cobertura das bacias contribuintes acompanhado do monitoramento das condições físico-químicas e biológicas da água e dos sedimentos trazidos pelos rios e transferidos para o reservatório permite estimar o nível de impacto ambiental causado pelas bacias tributárias sobre o nível trófico de reservatórios. Normalmente este tipo de estudo exige o investimento de recursos vultuosos e a utilização de métodos científicos complexos, normalmente indisponíveis na maioria dos casos. Em estudos deste tipo é necessária a coleta freqüente e consistente de dados por longos períodos para que se possam gerar conhecimentos

que permitam compreender melhor as características dos processos biogeoquímicos e hidrológicos que ocorrem em corpos d'água volumosos.

O reservatório de Paraibuna possui qualidade de água significativamente superior aos demais trechos do rio Paraíba do Sul, segundo resultados do monitoramento realizado pela CETESB (2004). Apesar de não possuir pontos de monitoramento na represa de Paraibuna, especificamente, a qualidade da sua água é estimada a partir do ponto mais próximo que está localizado na represa de Santa Branca a jusante de Paraibuna. Obviamente que este monitoramento é muito limitado e não permite capturar os efeitos das mudanças de uso e ocupação do solo decorrentes do aumento das atividades de lazer em suas margens e das atividades antrópicas que ocorrem nas bacias de seus rios tributários. A ocupação das margens e as modificações da cobertura e do uso das terras nas bacias a montante afetam a qualidade das águas pelo aumento da carga de contaminantes de origem difusa e pontual, como demonstrou Prado (2004). Esta autora evidenciou diferenças significativas nas contribuições dos braços dos rios Tiete e Piracicaba para o incremento do nível trófico da água da represa Barra Bonita no estado de São Paulo. Estima-se que uma situação semelhante esteja ocorrendo na represa de Paraibuna pela diferença de cobertura do solo nas bacias dos rios Paraitinga e Paraibuna que alimentam esta represa, como demonstrou preliminarmente Dias et al. (2005). Até o momento não existem estudos que validem esta hipótese.

O uso de técnicas de sensoriamento remoto possibilita coletar informações relevantes para o conhecimento desses processos sem que haja contato direto com o corpo d'água. Para tanto é necessário coletar dados espectrais e medidas de parâmetros hidrológicos e variáveis limnológicas que permitam estabelecer correlações consistentes entre eles.

A inferência de variáveis relacionadas à qualidade da água a partir de medidas provenientes de instrumentos de sensoriamento remoto pode ser feita através da análise das feições espectrais da radiação solar refletida pelo volume de água, em sub-superfície. Substâncias encontradas em águas naturais como clorofila presente no fitoplâncton, material inorgânico suspenso e matéria orgânica dissolvida, espalham e absorvem espectralmente a radiação solar incidente. Estes processos são dependentes do comprimento de onda e, portanto, influenciam a forma e a magnitude do espectro refletido a partir da água (Koponen et al. 2002).

A composição das diferentes substâncias opticamente ativas presentes na água resulta em diferentes padrões espectrais de absorção e de retro-espalhamento da radiação eletromagnética, permitindo que se possam distinguir diferentes assinaturas espectrais para cada tipo de água. Contudo, ambientes aquáticos, sobretudo águas continentais, apresentam características ópticas muito complexas devido à presença concomitante de vários componentes, bem como das variações nas concentrações desses componentes. Este problema é agravado pela baixa intensidade do sinal que atinge os sensores, já que a reflectância da água raramente chega a 10% da radiação incidente. Além disso, nas medições realizadas remotamente, fatores externos como: atenuação atmosférica, ângulo da iluminação, ângulo de observação, rugosidade da superfície, e efeitos do fundo; dificultam a análise desse tipo de dados (Chen et al. 1992).

O objetivo deste estudo é identificar diferenças nos padrões de comportamento espectral de alvos aquáticos opticamente ativos das águas da represa de Paraibuna advindas dos rios Paraitinga e Paraibuna com base em análise espectral comparativa.

2. Materiais e Método

2.1 Área de estudo

Esta pesquisa foi realizada na porção mais profunda da represa de Paraibuna, a qual chega a atingir 98 metros de profundidade, abrangendo os dois braços inundados das antigas calhas

dos rios Paraibuna e Paraitinga. Para a formação de um lago único, uma porção de relevo próxima à barragem que dividia as duas bacias foi dinamitada formando um canal de interligação. A porção da represa que é objeto deste estudo está representada na imagem menor na porção inferior esquerda da Figura 1. O principal motivo que culminou com a construção dessa represa foi a necessidade de regularizar o fluxo do Rio Paraíba do Sul para combater as enchentes freqüentes nos trechos de várzea deste rio e garantir a regularidade no suprimento de água para o estado do Rio de Janeiro para manutenção de uma vazão mínima na transposição para a bacia do Rio Guandu. Atualmente a represa de Paraibuna também é utilizada para a geração de energia elétrica, mas em pequena escala. Esta represa possui um espelho d'água de 224 km² quando com 100% de sua capacidade e as bacias de seus principais tributários ocupam uma área total de 4.078 km².

A degradação das águas do rio Paraíba do Sul, segundo Coimbra e Freitas (2003), é resultado da liberação de um bilhão de litros de esgotos não tratados por dia, uma vez que 90% dos municípios da bacia não contam com estação de tratamento. Soma-se a estes efluentes 150 toneladas de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) por dia, correspondentes à carga poluidora derivada dos efluentes industriais orgânicos. A carga poluidora total da bacia do Paraíba, de origem orgânica, corresponde a cerca de 330 toneladas de DBO por dia, dos quais cerca de 55% derivam de efluentes domésticos e 45% industriais. A vazão da represa de Paraibuna precisa ser mantida a um nível mínimo para garantir a diluição da carga de esgoto urbano liberada *in natura* no Rio Paraíba do Sul e seus afluentes (CBH-PSM, 2004), uma vez que reduções de vazão em função dos problemas de estiagem no início desta década levaram à constatação de que vazões abaixo de 36 m³/s coloca em risco a saúde ambiental do rio pela necessidade de diluição dos esgotos, principalmente pelas cidades de Jacareí e São José dos Campos. É importante salientar que o papel depurador da qualidade de água exercido pela vazão da represa de paraibuna está diretamente relacionado com a qualidade da água represada pelo barramento, ou seja, o uso inadequado do solo nas bacias tributárias que alimentam a represa poderá reduzir, ao longo do tempo, a capacidade depuradora dessa massa d'água armazenada em função da degradação da qualidade da água na própria represa.

2.2 Dados espectrais

Foram coletados dados hiperespectrais utilizando um espectrorradiômetro portátil modelo *FieldSpec® UV/VNIR*, da *Analytical Spectral Devices, Inc*. Este equipamento opera na faixa de 325 e 1075 nm (visível e infravermelho próximo), baseado em uma matriz de 512 detectores, que pode operar com resoluções nominais bastante estreitas (2 nm). Este espectrorradiômetro coleta a energia luminosa através de fibras óticas que são projetadas sobre uma grade de difração holográfica onde os componentes de onda são separados e refletidos na direção dos detectores independentes de coleta. As medições do espectro refletido são adquiridas através de um ângulo de visada de em torno de 25° que cobre uma área de aproximadamente 0,22 m². As medidas radiométricas são corrigidas para valores de reflectância de visada absoluta com o auxílio de uma placa branca padrão de referência Spectralon® com reflectância maior do que 99 % na faixa do espectro visível e infravermelho próximo. A faixa espectral deste equipamento é a de maior importância para a extração de informações sobre os constituintes da água (Kirk, 1983). O espectrorradiômetro permite obter transectos com alta resolução espectral próximos à superfície da água, portanto sem influência atmosférica sobre a reflectância.

2.3 Coleta de dados

Foi realizada uma campanha de coleta de dados em campo no dia 9 de junho de 2006 com

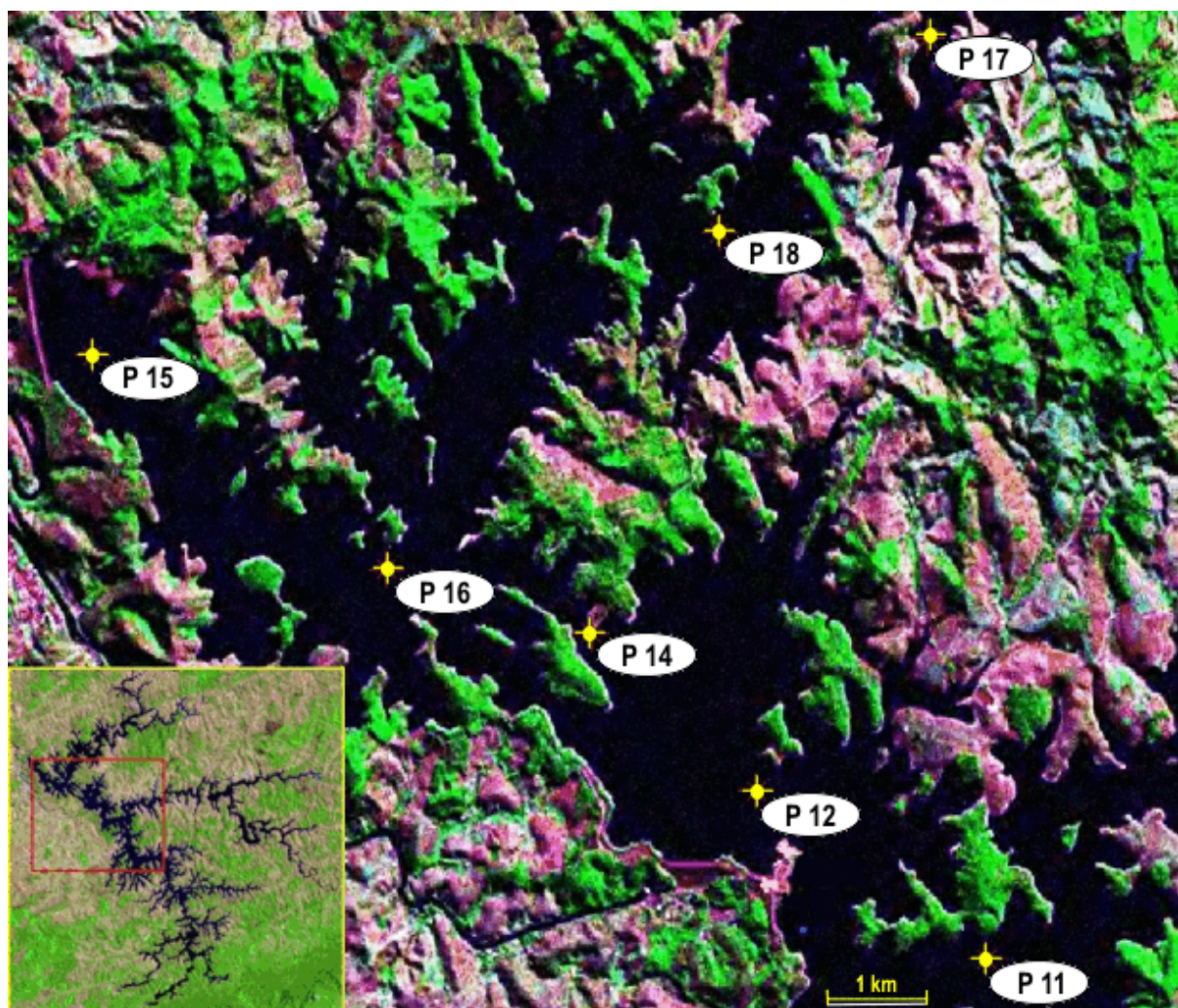


Figura 1. Localização dos pontos de amostragem na porção da represa estudada. Mapa menor mostra a localização da área estudada em relação à área de toda a represa.

base em uma programação preliminar de coleta de dados em onze pontos amostrais, dos quais sete foram utilizados na geração dos resultados para este trabalho e que estão representados na Figura 1. Em cada ponto de amostragem foram capturadas as coordenadas geográficas com auxílio de um receptor GPS portátil, colhidos no mínimo cinco espectros após calibração com placa Spectralon padrão, obtida a leitura de profundidade do disco *Secchi* e coletadas medições de variáveis limnológicas em três profundidades (superfície, 5 m e 10 m). Os espectros coletados em campo foram posteriormente processados em laboratório e convertidos em reflectância relativa. As curvas espectrais obtidas em campo são comparadas com curvas de Membros de Referência publicados por Rudorff (2006).

As medições das variáveis limnológicas de turbidez, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e temperatura foram realizadas com equipamento automático marca Horiba, modelo U10. Posteriormente à campanha foram obtidos os dados sobre as condições meteorológicas da semana que antecedeu ao dia de campo junto ao Centro de Pesquisas e Estudos de Tempo e Clima (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

3. Resultados e Discussão

As condições meteorológicas dos sete dias que antecederam ao trabalho de campo foram as seguintes: precipitação total 0 (zero), temperatura mínima média de 9,3° C, temperatura

Tabela 1. Valores das variáveis limnológicas medidas em cada ponto de amostragem e separados por profundidade.

Pontos	Latitude (° S)	Longitude (° O)	Prof. (m)	pH	Cond. Elétrica (µS/cm)	Turb. (NTU)	OD (mg/l)	Temp. (°C)	Secchi (m)
11	23,418	45,570	0,5	6,62	31	0	7,67	21,7	4,3
			5	6,47	29	1	7,13	20,8	
			10	5,93	30	0	7,20	20,7	
12	23,405	45,592	0,5	6,74	33	4	7,63	21,5	3,8
			5	6,5	34	1	7,13	20,9	
			10	6,16	32	1	7,25	20,6	
14	23,392	45,607	0,5	6,84	34	1	7,64	21,7	3,2
			5	6,63	34	1	7,55	20,8	
			10	6,26	35	1	7,15	20,8	
15	23,370	45,654	0,5	6,95	37	2	8,52	21,5	2,9
			5	6,69	37	1	7,97	20,7	
			10	6,39	37	1	7,27	20,6	
16	23,387	45,626	0,5	6,91	37	5	7,28	21,7	3,0
			5	6,67	36	2	7,06	20,6	
			10	6,33	38	1	7,68	20,6	
17	23,346	45,575	0,5	7,04	40	2	7,71	21,7	3,5
			5	6,78	40	1	7,03	20,9	
			10	6,18	40	0	6,52	20,7	
18	23,361	45,595	0,5	7,08	40	1	7,08	21,6	3,4
			5	6,75	39	1	6,75	20,7	
			10	6,35	40	1	6,35	20,7	

máxima média de 27,2° C, temperatura média no período de 16,2° C, velocidade média do vento de 0,2 km/h, velocidade máxima das rajadas de vento de 4,8 km/h. Estes dados foram registrados pela Plataforma de Coleta de Dados (PCD) do CPTEC/INPE localizada no município de Paraibuna, São Paulo. O período escolhido para este estudo foi a estação seca da região que normalmente se estende de maio a outubro. Os dados do CPTEC confirmam a ocorrência de um período típico da estação seca na semana que antecedeu à coleta de dados em campo, ou seja, precipitação baixa, temperaturas mínimas baixas durante a noite e temperaturas máximas relativamente elevadas no início da tarde.

A Tabela 1 apresenta os valores das variáveis limnológicas medidas em cada ponto de amostragem separadas por profundidade. Observa-se uma baixa variação dos variáveis medidos tanto em profundidade quanto entre os pontos amostrados. Principalmente dos variáveis pH, oxigênio dissolvido (OD) e temperatura (Temp.). Os valores de condutividade elétrica indicam indiretamente a presença de nutrientes na água. Pela tabela pode-se observar que os valores decrescem sequencialmente desde o ponto 17 até o ponto 15 e que dos pontos 11 a 14 ela aumenta, o que indica o aporte maior de nutrientes trazidos pelo rio Paraitinga e menor pelo rio Paraibuna. Com relação à turbidez se observa que os valores são baixos e todos apresentam condições próprias para o consumo humano segundo os critérios estabelecidos pela Resolução 518/2004 do Ministério da Saúde (máximo de 5 NTU). O ponto 16 apresentou turbidez um pouco mais elevada em relação aos demais, o que deve estar relacionado com o tráfego de balsa próximo a este ponto da represa para o transporte de veículos e pessoas. A medição da profundidade do disco *Secchi* foi feita por um só membro da equipe em todos os pontos de amostragem. Os resultados mostram que a água é bastante transparente com variação relativamente baixa de visibilidade do disco entre os pontos

(máximo de 1,4 m). Entretanto, se observa que na porção leste da represa a transparência é um pouco maior do que a porção oeste. O que pode ser comprovado pelos valores máximo (ponto 11) e mínimo (ponto 15) na Tabela 1 e pela média dos pontos da porção leste versus oeste que ficaram em 3,8 e 3,2 m, respectivamente.

A Figura 2 apresenta as curvas espectrais médias para cada um dos pontos amostrados (A), as curvas de Membros de Referência obtidas a partir de imagem hiperespectral do sensor Hyperion publicadas por Rudorff (2006) (B), o grupo de curvas com valores mais altos de reflectância (C) e o grupo de curvas com valores de reflectância mais baixos (D). Na parte A se observa que a forma geométrica geral das curvas das amostras é semelhante (com exceção do ponto 12) e que o pico de reflectância se situa entre 555 e 576 nm. A localização deste pico indica a ausência de sedimentos em suspensão que tendem a puxar o valor máximo de reflectância para além de 700 nm (Aristo, 2003), como pode ser observado na curva do Membro de Referência (parte B) para sedimentos em suspensão (curva em vermelho). Estes valores máximos sugerem a presença de fitoplâncton na coluna d'água, apesar de não serem observadas as outras feições típicas de absorção e reflexão de clorofila nas faixas de aproximadamente 670 nm e 720 nm, como mostra o Membro de Referência para o fitoplâncton. Isto se deve ao fato da água ser clara e com uma zona eufótica ser mais profunda que possibilita ao fitoplâncton se distribuir mais profundamente na coluna d'água.

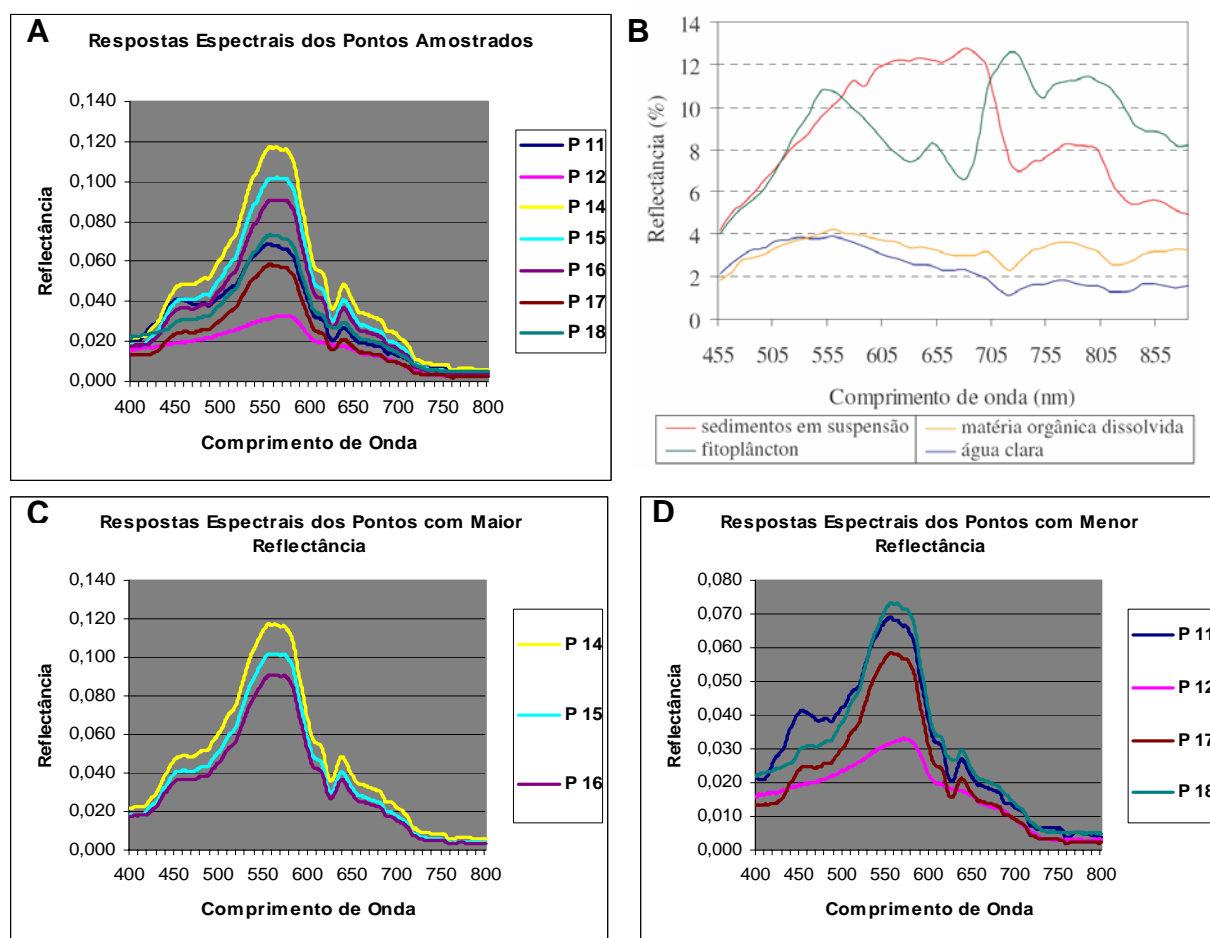


Figura 2. (A) Respostas espectrais dos pontos amostrados, (B) Membros de Referência obtidos a partir de imagem hiperespectral do sensor Hyperion por Rudorff (2006), (C) curvas espectrais do grupo com reflectância mais alta e (D) curvas espectrais do grupo com reflectância mais baixa.

Na parte C são apresentadas as curvas espectrais dos pontos 14, 15 e 16 que possuem respostas espectrais relativamente mais altas que os demais com percentagens de reflectância variando de 0,090 a 0,117 (ou 9 a 11,7%). Comparando-se com a curva de referência do fitoplâncton (em verde na parte B) pode-se observar que o pico nesta curva chega a quase 11% em torno de 555 nm. Enquanto que a base da curva no vermelho (em torno de 620 nm) se situa abaixo de 0,55 (5,5%) contra quase 8% na referência. O que indica uma concentração maior de clorofila dispersa na coluna d'água nestes pontos, ou seja, na porção do rio Paraitinga mais próxima à barragem.

Os pontos 18, 11 e 17 apresentados na parte D possuem reflectância menor com valores máximos oscilando entre 0,058 a 0,073 (ou 5,8 a 7,3%) e valores de base da curva no vermelho entre 0,025 e 0,034 (ou 2,5 e 3,4%). Nestes três pontos a concentração de clorofila, estimada pela reflectância, é menor que nos pontos anteriores, mas também significativa. Os pontos 17 e 18 estão localizados no braço do rio Paraitinga na porção mais distante da barragem e o ponto 11 na porção mais distante da barragem sobre o braço do rio Paraibuna. O ponto 12 apresentou a menor reflectância ao longo de todo o espectro, entretanto com valores máximos tendendo na direção de comprimentos de onda maiores. Isso significa que este ponto apresenta uma menor concentração de alvos opticamente ativos de forma em geral, mas, talvez, com uma concentração relativa maior de sedimentos em suspensão do que de clorofila. Essa menor reflectância pode ser explicada pelo fato de que este ponto se localiza na borda leste da área de maior espelho d'água e, também, de maior profundidade, ou seja, uma região mais lântica com água mais limpa em que ocorre maior absorção da energia incidente.

Nos pontos 12, 14, 15, 16 e 17 se observa uma faixa de absorção centrada em 628 nm. A localização desta feição e a ausência de feições típicas de reflexão e absorção pela clorofila, centradas em 676 nm e 693 nm (Runquist et al., 1996), respectivamente, indicam a possível presença de cianobactérias (algas azuis), conforme reportado por Jeffrey et al. (1997 apud Arst, 2003). Segundo este autor, as cianobactérias possuem ficobiliproteínas (ficocianina, ficoeritrina e haloficocianina) que absorvem fortemente a radiação solar em 630 nm. No ponto 12 esta faixa de absorção não é observada e no ponto 18 ela está presente, mas com menor intensidade. Embora não seja possível estimar a concentração desta provável presença de cianobactérias, é possível afirmar que a concentração maior destes organismos ocorreu entre os pontos 14, 15 e 16, ou seja, na região mais próxima do principal barramento da represa sobre o braço do rio Paraitinga, maior fonte, segundo valores de condutividade, de nutrientes para a represa. Cabe salientar que a presença de cianobactérias na água de reservatórios pode ser prejudicial ao consumo humano conforme estabelece a Resolução 518/2004 do Ministério da Saúde, Artigo 4. Ainda conforme esta Resolução, o monitoramento do manancial junto ao ponto de captação é obrigatório sempre que o número de cianobactérias exceder 20.000 células/mL, conforme preconiza o Artigo 18, parágrafo 5°.

4. Considerações Finais

Este estudo, apesar de sua abordagem simples imposta por limitações financeiras e de infraestrutura que impossibilitaram a realização de amostragens de água para medição de variáveis limnológicas diretamente relacionadas com a concentração de componentes opticamente ativos, demonstrou a viabilidade de se identificar a presença de organismos e compostos inorgânicos na água com base na interpretação de curvas espectrais de alta resolução e na comparação com outros resultados publicados na literatura. Neste sentido, a relativa transparência e boas condições tróficas das águas da represa de Paraibuna permitiram identificar componentes opticamente ativos raramente observados em outras regiões devido à presença de constituintes que interagem simultaneamente com a radiação solar.

A observação clara e evidente da feição espectral de absorção de energia típica de cianobactérias foi possível graças ao bom estado trófico dessa represa e à baixa concentração de outros organismos planctônicos que pudessem interferir com o sinal refletido por esta feição.

O caráter preliminar deste estudo não reduz o mérito de sua realização pelo fato de a represa de Paraibuna ser um objeto de pesquisa ainda sub-explorado apesar da localização geográfica próxima a diversos centros de pesquisa na área de recursos hídricos e de sensoriamento remoto. Estudos mais complexos e consistentes poderão responder a perguntas levantadas por este estudo, entre elas: Há ocorrência freqüente de *booms* de cianobactérias na represa de Paraibuna? Quais os fatores bióticos e abióticos que propiciam a formação desses ou outros *booms*? Existem outros componentes opticamente ativos que ocorrem sazonalmente ou freqüentemente nesta represa?

Referências

- Arst, H. Optical Properties and Remote Sensing of Multicomponential Water Bodies. Springer-Praxis, Chichester, UK, 231 p., 2003.
- CBH-PSM (Comitê das Bacias Hidrográficas do Paraíba do Sul e Mantiqueira). Documento eletrônico – Medidas Emergenciais Visam Recuperação dos Reservatórios do Paraíba. Acesso em 16/11/04 www.comitepsm.sp.gov.br, 2004.
- CETESB, 2004 – Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo Secretaria do Meio Ambiente – Série / Relatórios ISSN 0103-4103, 273 p., 2003.
- Chen, Z.; Curran, P.J.; Hansom, J.D. Derivative Reflectance Spectroscopy to Estimate Suspended Sediment Concentration. Remote Sensing of Environment. Vol. 40, pp. 67 - 77, 1992.
- Coimbra, R. M.; Freitas, M. A. V. O estado das águas na bacia do rio Paraíba do Sul. Documento eletrônico. www.mma.gov.br/port/srh/acervo, 2003.
- Dias, N.W., Catelani, C., Batista, G.T., Targa, M.S. Análise da Carga de Sedimentos da Represa de Paraibuna com Base em Dados Multiespectrais. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, PB, 2005.
- Kirk, J. T. O. Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems, Cambridge University Press, 1983.
- Koponen, S., Pulliainen, J., Kallio, K., Hallikainen, M. “Lake water quality classification with airborne hyperspectral spectrometer and simulated Meris data,” Remote Sensing of Environment, Vol. 79, pp. 51-59. 2002.
- 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. Tese (Doutorado). Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2004.
- Rudorff, C. M. Estudo da Composição das Águas da Planície Amazônica por Meio de Dados de Reflectância do Sensor Hyperion/Eo-1 e de Espectrorradiômetro de Campo Visando a Compreensão da Variação Temporal dos Seus Constituintes Opticamente Ativos. Dissertação (Mestrado). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2006.
- Rundquist, D. C., Han L., Schalles J. F., And Peake, J. S. Remote Measurement of Algal Chlorophyll in Surface Waters: the case for the First Derivative of Reflectance near 690 nm, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, (62): 195-200, 1996.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio incondicional da CESP – Companhia Energética de São Paulo na realização dos trabalhos de campo, em especial o engenheiro João Alberto Cardoso de Oliveira e o biólogo Danilo Caneppele e sua equipe. E também ao apoio voluntário das alunas Suely Franco Siqueira Lima e Regla de la Caridad Duthit Somosa. O primeiro autor agradece ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão de bolsa de Pós-doutorado Júnior (Processo No.151743/2005-3) que viabilizou a execução desta pesquisa.