

# DESCRIÇÃO DA INFLUÊNCIA DO RIO PARAITINGA NA ÁGUA DA REPRESA DE PARAIBUNA COM O USO DE IMAGEM HIPERESPECTRAL

Nelson Wellausen Dias <sup>1</sup>  
Getulio Teixeira Batista <sup>1</sup>  
Ruy Morgado de Castro <sup>2</sup>  
Romero da Costa Moreira <sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Instituto de Estudos Avançados - IEAV/CTA C. P. 6044 – 12.231-970 – São José dos Campos, SP, Brasil  
{rmcastro, moreira}@ieav.cta.br

## **Abstract.**

The objective of this study is to describe water quality related impacts of Paraitinga River in the Paraibuna Reservoir, State of São Paulo, Brazil. Hyperspectral data was acquired in July 27th, 2006, using a HSS airborne spectrometer. Selected bands used for spectral analysis of optically active water constituents ranged from 400 to 900 nm. Results indicate that the amount of material carried by the river before entering the reservoir was relatively small at this time of the year. The reservoir shows strong capacity to absorb the inflow of materials soon after entering the slower flow area. Comparing our results with published research it can be stated that concentrations of suspended solids and near surface green algae are relatively low. Absolute radiance of most sample points was low, which gives insights into assessing the good condition of water quality of this reservoir based on water transparency and small concentrations of organic and inorganic water constituents. Future research should focus on acquiring image and field data concomitantly in different times of the year.

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

## **1. Introdução**

O aporte de sedimentos, nutrientes e poluentes carreados pelos rios em função da drenagem do escoamento superficial da água da chuva e do afloramento de água subterrânea, afeta a condição trófica das represas que recebem estes materiais. Além do problema do assoreamento, que com o tempo reduz a capacidade de reserva de água de represas pelo depósito de sedimentos no fundo do lago, a eutrofização do ambiente aquático gera a proliferação de plantas aquáticas pela maior disponibilidade de nutrientes trazidos pelos rios. O aporte de materiais orgânicos e inorgânicos trazidos pelos rios depende das características de uso e cobertura do solo nas bacias tributárias. Portanto, o estudo dessas características das bacias contribuintes associados ao levantamento das condições físico-químicas e biológicas da água e dos sedimentos presentes tanto nos rios quanto no reservatório permite estimar o grau de impacto que as bacias tributárias causam sobre o nível trófico dos lagos. Via de regra este tipo de estudo demanda investimentos vultuosos e métodos complexos que normalmente inviabilizam a coleta abrangente e consistente de dados bem como a geração de conhecimento que permita compreender em detalhe os processos biogeoquímicos e hidrológicos que operam nestes corpos d'água. Uma alternativa que vem se tornando viável é a aplicação de tecnologias de observação sinóptica e indireta por meio de sensores remotos hiperespectrais aerotransportáveis. Os dados coletados por esses sensores permitem determinar correlações cientificamente coesas entre as características espectrais dos componentes opticamente ativos presentes na água e a qualidade da água. O emprego de diversos sensores deste tipo, como

AVIRIS, HSS, AISA, HyMap, CASI, entre outros, tem gerado conhecimento científico ao longo dos últimos anos que está disponível para aplicação em outros estudos e regiões do globo. No caso de estudos aplicados à estimativa de qualidade de corpos d'água continentais Helgi Arst (2003) em seu livro faz uma síntese dos trabalhos já desenvolvidos.

A represa de Paraibuna é localizada na porção superior da bacia do Rio Paraíba do Sul, Estado de São Paulo, e recebe o aporte de água dos rios Paraitinga e Paraibuna que possuem características de uso e cobertura do solo distintas (Dias et al., 2005). O rio Paraitinga drena uma área de aproximadamente 2.684 km<sup>2</sup> com cobertura predominantemente de pastagem (cerca de 80,0%). As características de qualidade da água na represa de Paraibuna são boas e se caracterizam como Classe 1 segundo a Resolução CONAMA 357/2005, conforme dados da CETESB (2004). Entretanto, a ocupação irregular das margens das represas e mudanças de uso e cobertura do solo nas bacias contribuintes podem afetar a qualidade da água pela adição de contaminantes de origem difusa e pontual, como demonstrou Prado (2004) em estudo realizado na represa de Barra Bonita. Na represa de Paraibuna é esperado que ocorram impactos diferenciados dos rios Paraitinga e Paraibuna devido às características distintas de cobertura do solo como demonstrado preliminarmente por Dias et al. (2005). O rio Paraitinga, segundo este estudo, contribui com uma carga maior de sedimentos devido ao predomínio das pastagens nesta bacia. Entretanto, até o momento, não foram realizados estudos mais aprofundados e consistentes para determinar o quanto que a maior degradação da bacia do rio Paraitinga afeta a qualidade de água na represa de Paraibuna.

O uso de sensores remotos hiperespectrais aerotransportáveis para identificar características espectrais no sinal detectado pelos sensores a partir da energia refletida pelo corpo d'água propicia uma percepção ampliada (geograficamente) e momentânea (em um breve instante) do comportamento espectral de toda a área imageada. A comparação entre os sinais registrados pelo sensor (e posteriormente convertidos em reflectância) e o comportamento espectral medido pontualmente com equipamento portátil, permite identificar feições espectrais associadas à substâncias encontradas na água, tais como: clorofila, material inorgânico suspenso e matéria orgânica dissolvida. Essas feições espectrais 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). Por outro lado, ambientes aquáticos continentais apresentam características óticas muito complexas devido à presença concomitante de vários componentes na água em concentrações que variam tanto no espaço quanto ao longo do tempo. Associa-se a esta limitação o fato de que o sinal que atinge os sensores possui baixa intensidade, uma vez que a reflectância da água raramente atinge 10% da radiação incidente. Além disso outros fatores afetam a atenuação da radiação captada pelos sensores devido ao fato de que os corpos d'água estão sujeitos à alteração da rugosidade da superfície pela ação dos ventos, à reflexão especular da luz solar em função do ângulo de incidência, a interferência da reflexão do fundo em água transparentes e pouco profundas e a atenuação pela atmosfera (Chen et al. 1992).

O objetivo deste estudo é caracterizar os padrões de comportamento espectral da água do rio Paraitinga antes e depois de entrar na área de inundação da represa de Paraibuna para estimar o impacto da contribuição de materiais orgânicos e inorgânicos drenados de sua bacia na qualidade da água da represa.

## **2. Materiais e Método**

### **2.1 Área de estudo**

A área estudada compreende a porção noroeste da represa de Paraibuna onde o rio Paraitinga deságua na represa e onde se localizava o seu leito original. O estudo focalizou

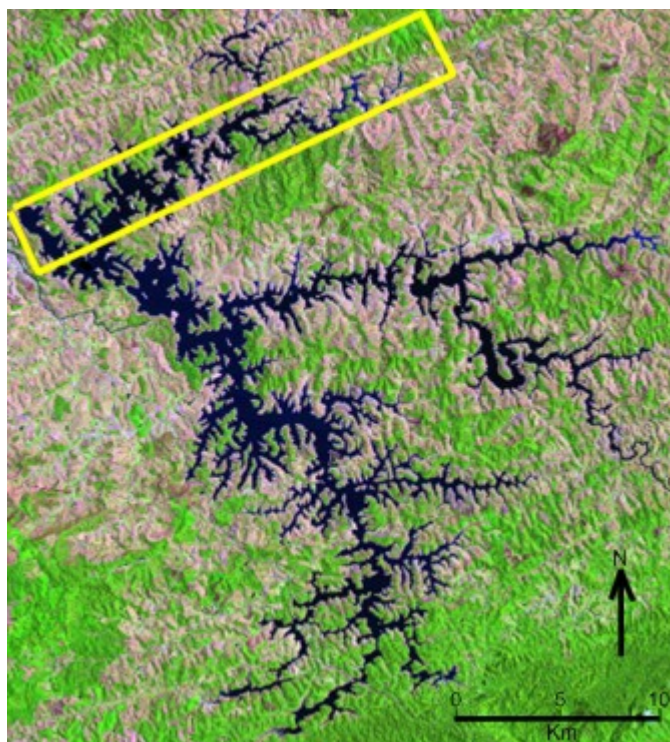


Figura 1. Localização da área estudada em relação à área de toda a represa de Paraibuna representada pela imagem Landsat ETM adquirida em 14 de agosto de 2003 (Bandas 5R, 4G, 3B).

pontos de amostragem no espelho d'água do rio antes de entrar na represa e diversos pontos represa adentro até próximo da barragem que interceptou o fluxo natural deste rio. A Figura 1 mostra a localização da área de estudo em relação à área total da represa, que possui um espelho d'água de 224 km<sup>2</sup>.

## 2.2 O Sensor HSS

O sensor HSS, pertencente ao SIVAM (Sistema de Vigilância da Amazônia), é transportado a bordo de aeronave e equipado com receptor do sistema de posicionamento global (GPS) e produz imagens hiperespectrais com alta confiabilidade geográfica e espectral. Este sensor coleta imagens com bandas espectrais programáveis a partir de 30 nanômetros de largura na faixa espectral entre 400 e 1.000 nanômetros além dos infravermelhos médio e termal. Este sensor grava cenas com base na varredura por espelhos e registra os dados sobre uma matriz de *pixels* que, por sua vez, gera imagens com resolução espacial variável dependendo da altitude de vôo. O campo de visada (FOV) do Sensor é de 86°, com a possibilidade de utilização de dois campos de visadas instantâneos (IFOV), 1,25 e 2,5 mrad. Com uma taxa de sobreposição de 20% dos *pixels* obtêm-se 1440 e 720 *pixels* em cada linha de varredura para os IFOV de 1,25 e 2,5 mrad, respectivamente. O Sistema pode realizar medições nas seguintes frequências de varredura: 6,25, 12,5, 25, 50 e 100 Hz.. Para a campanha de coleta de dados de onde originou a imagem utilizada neste estudo o HSS foi calibrado para operar com as bandas mostradas na Tabela 1. Detalhes desse sensor podem ser vistos em Moreira et al. (2005).

## 2.3 Imageamento

A imagem utilizada neste estudo foi capturada durante um vôo diurno no dia 19 de julho de 2006, utilizando o sensor HSS do SIVAM, com os dados fornecidos pela tripulação de vôo

Tabela 1. Bandas espectrais (valor central) do sensor HSS

Visível		Infraverm. Prox.		Infraverm. Médio		Infraverm. Termal	
Banda	(nm)	Banda	(nm)	Banda	(nm)	Banda	(nm)
1	456	10	715	21	1.583	38	3.201
2	483	11	743	22	2.005	39	3.509
3	511	12	772	23	2.032	40	3.864
4	540	13	801	24	2.058	41	4.250
5	568	14	829	25	2.084	42	4.606
6	598	15	859	26	2.109	43	4.951
7	627	16	888	27	2.135	44	5.276
8	656	17	915	28	2.16	45	8.181
9	685	18	944	29	2.185	46	8.684
		19	971	30	2.209	47	9.158
		20	1.000	31	2.233	48	9.805
				32	2.257	49	10.811
				33	2.28	50	12.025
				34	2.303		
				35	2.326		
				36	2.349		
				37	2.371		

Tabela 2. Características do sobrevôo.

Dados de vôo fornecidos pela tripulação								
Hora Zulu	Proa	Deriva	Veloc. Solo (nós)	Altitude planejada (pés)	Altitude e MSL (m)	Veloc. Scan (Hz)	BB1 Temp (°C)	BB2 Temp (°C)
15:58 / 16:03	265°	- 8	130	7000	2226	25	17	47

Obs.: BB1 e BB2 = correspondem aos corpos negros de referência, 1 e 2, respectivamente.

apresentados na Tabela 2. A da linha de vôo iniciou no ponto 23° 17.981' S, 45° 27.571' W e encerrou no ponto 23° 22.783' S, 45° 39.819' W.

Os dados coletados foram pré-processados e processados com um software desenvolvido pelo fabricante do sensor (Sensytech Inc., 2002). Este software permite gerar imagens dos diversos canais registradas entre si, corrigidas geometricamente para retirar problemas associados a variações na atitude da aeronave durante o vôo e expressas em valores de radiância (para os canais no visível e infravermelho) ou temperatura (para os canais termais).

A imagem obtida sobre a porção noroeste da represa de Paraibuna tem seus valores digitais expressos em radiância absoluta (expressa em mW/sq cm-sr-nm). Foram selecionadas as bandas de 1 a 17 para este estudo, por estarem localizadas na faixa espectral mais empregada para estudos de água, ou seja, de 400 a 900 nm. Sobre a imagem foram selecionadas amostras de grupos de *pixels* com no mínimo 450 *pixels* cada uma nas 17 bandas escolhidas utilizando o software ENVI, versão 4.2. Os valores digitais das amostras foram exportados para uma planilha eletrônica para análises comparativas entre os espectros.

### 3. Resultados e Discussão

A localização dos pontos de amostragem na porção superior e inferior da área de estudo é apresentada na Figura 2. As amostras Rio 1, 2, e 3 correspondem às amostras obtidas sobre o rio Paraitinga antes de entrar na represa de Paraibuna. A amostra Rio 4 está localizada na seqüência do canal do rio, mas já dentro da represa, portanto com velocidade de vazão já reduzida. O ponto Rep 1 se localiza em um braço de inundação da represa fora do canal

original do rio. Já os pontos Rep 2 e 3 seguem na seqüência do canal do rio à jusante do ponto Rio 4. Na porção inferior da área de estudo (lado direito da figura) se pode observar a barragem do rio Paraitinga no canto inferior esquerdo (à jusante do ponto Rep 13). O ponto Rep 12 se localiza junto à conexão artificial entre os rios Paraitinga e Paraibuna criada por abertura artificial do divisor de água dessas duas bacias quando do enchimento da represa.

As curvas de resposta espectral média dos *pixels* amostrados nos pontos Rio 1, 2, 3, 4 e Rep 1, 2, 3 são mostradas na Figura 3. Observa-se nesta figura que as três primeiras curvas espectrais do rio possuem radiância maior que as demais, com pico em 598 nm e com formato convexo na faixa entre 598 e 743 nm. Os valores mais elevados nesta faixa espectral indicam a presença de sólidos em suspensão na água, mas com concentrações relativamente baixas como se pode perceber pela coloração escura da água do rio na imagem. Como a imagem foi obtida no mês de julho, período típico de clima seco, o rio carrega pouco sedimento nesta época do ano se comparado ao período chuvoso que inicia normalmente em novembro. Observa-se, também, que existe uma forte redução na radiância de componentes aquáticos oticamente ativos dos pontos anteriores para o ponto Rio 4. Esta redução se acentua desde este ponto aos pontos Rep 1 e Rep 2. Esta transição na radiância média dessas amostras representa claramente a capacidade de reter sedimentos (por meio da sedimentação) e compostos orgânicos pelas águas da represa, em função da diminuição da velocidade de fluxo do rio e conseqüente perda da capacidade de transporte destes materiais. Na Figura 4 se observa uma tendência de radiâncias relativamente mais baixas na faixa de 511 a 598 nm e

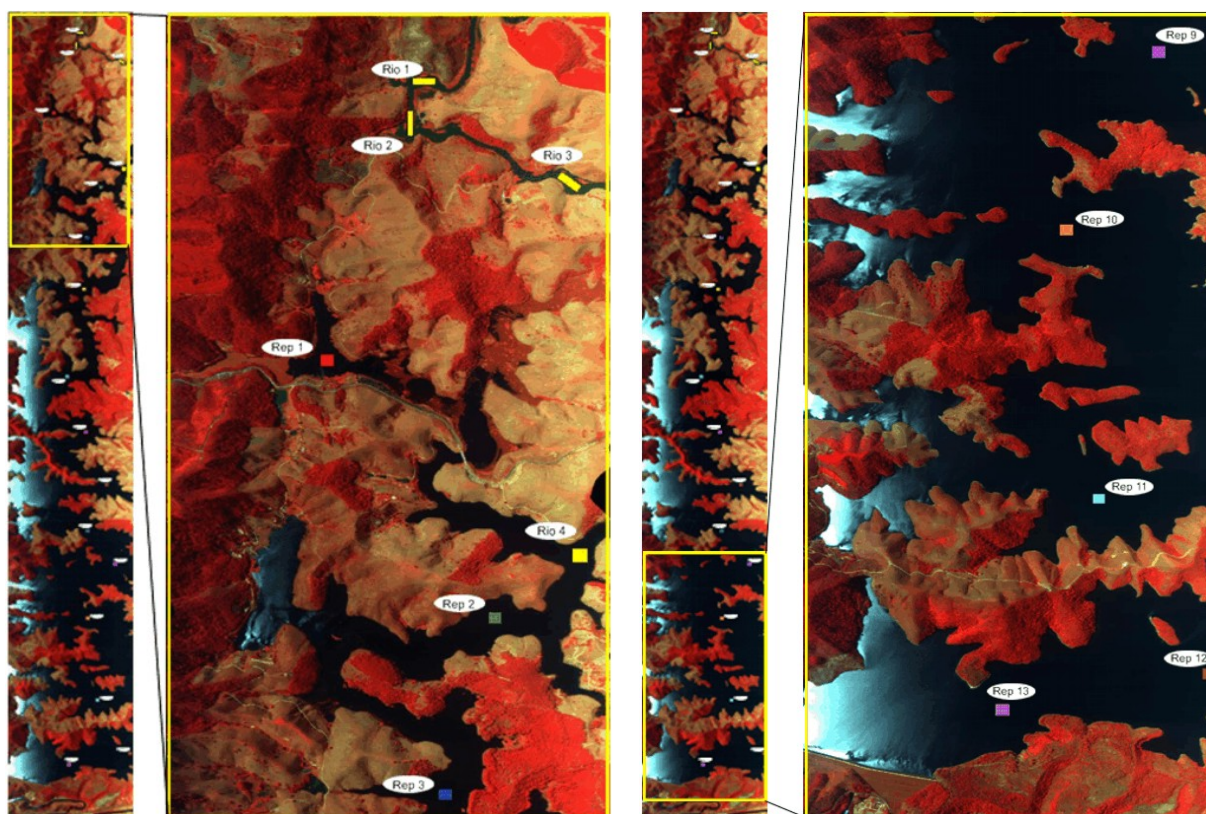


Figura 2. Localização das principais amostras utilizadas neste estudo. Na porção superior (imagem da esquerda) aparecem os quatro pontos sobre o rio Paraitinga (Rio 1, 2, 3 e 4) e os primeiros três sobre a represa (Rep 1, 2 e 3). Na porção inferior (imagem da direita) aparecem os pontos mais próximos da barragem (Rep 9 a 13). Os pontos intermediários (Rep 5 a 8) podem ser localizados na figura menor à esquerda.

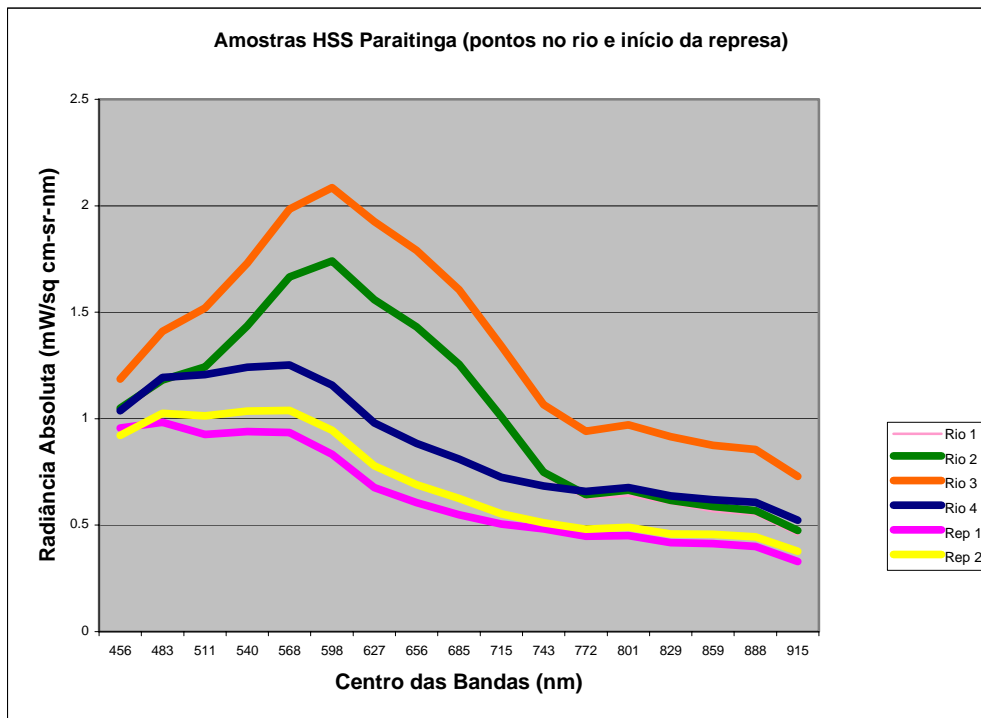


Figura 3. Curvas de resposta espectral média expressa em reflectância dos *pixels* amostrados nos pontos da porção superior da área de estudo.

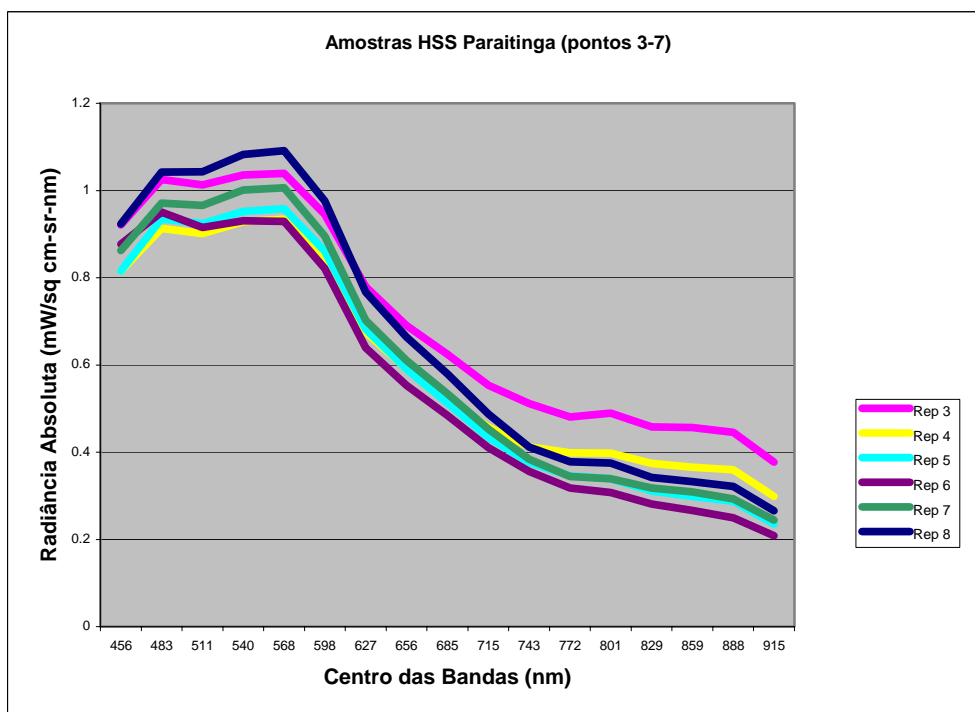


Figura 4. Curvas de resposta espectral média das amostras da porção intermediária da área de estudo.

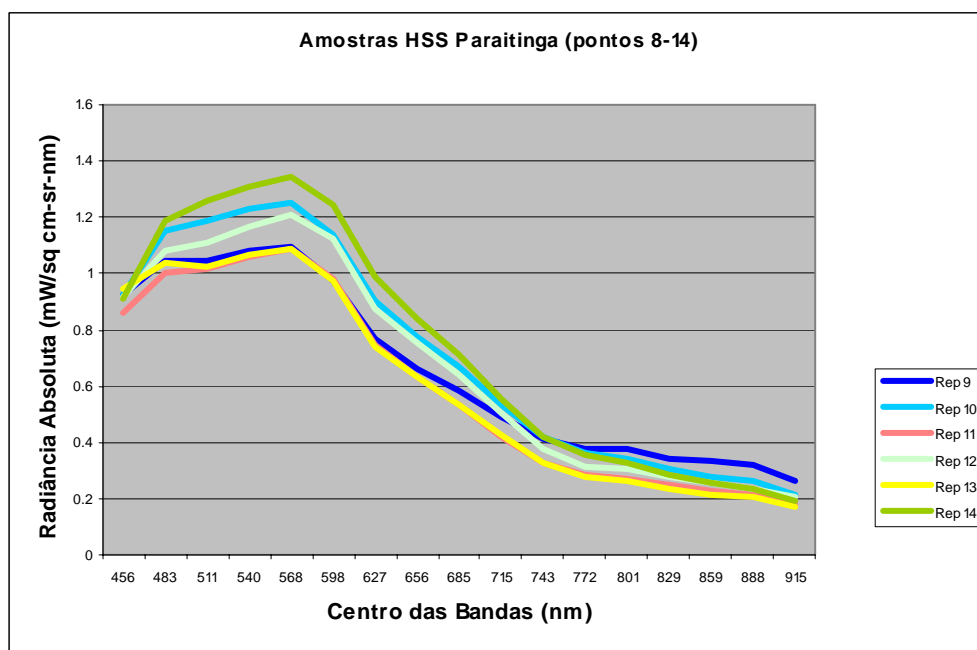


Figura 5. Curvas de resposta espectral média das amostras da porção inferior da área de estudo.

mais altas na faixa de 743 a 888 nm a medida que os pontos aumentam (de 3 a 8, descendo em direção à barragem e se afastando da área de influência do rio). Esta tendência fica mais clara ao observarmos os pontos 4 e 8 e, em menor escala, entre os pontos 5 e 7 na Figura 4. A mesma tendência pode ser observada na Figura 5, notadamente entre os pontos 9 e 14. Uma explicação possível para esta tendência seria a diminuição na concentração de sólidos em suspensão e o aumento na concentração de pigmentos de origem biológica a medida que descemos em direção à barragem. Isso porque os sólidos em suspensão refletem mais fortemente na faixa mais próxima do infravermelho (acima da banda de 715 nm) e os pigmentos tendem a refletir mais fortemente na faixa do verde (entre as bandas 511 e 568 nm).

Fazendo uma análise mais ampla dos resultados obtidos se pode afirmar que as águas da represa de Paraibuna, no trecho compreendido entre a entrada do rio Paraitinga e sua barragem, possui boas condições de qualidade devido à baixa concentração de sólidos em suspensão (baixa reflectância acima de 715 nm; Arst, 2003), à ausência de níveis elevados de clorofila junto à superfície (pela ausência de feições de absorção próximas a 676 nm e de reflexão próximas a 697 nm; Runquist et al., 1996) e à transparência da água (baixa reflectância e aparência escura na imagem), a qual, por sua vez, permite que o fitoplâncton se distribua verticalmente na coluna d'água pela ampliação da zona eufótica, em praticamente todos os pontos amostrados.

#### 4. Considerações Finais

Este foi o primeiro estudo em que foi utilizada uma imagem hiperespectral para detectar a influência do rio Paraitinga sobre a qualidade da represa de Paraibuna. O ideal seria coletar os dados de campo, tanto espectrais quanto as variáveis limnológicas, concomitantemente com o sobrevôo do sensor HSS. Infelizmente este agendamento não foi possível devido a problemas técnicos com o sensor que exigiu o adiamento da campanha por três vezes no período de quase um ano.

Entretanto, os resultados obtidos demonstram claramente o potencial de aplicação desta tecnologia, e mais especificamente deste sensor, para a geração de informações espectrais associadas à qualidade de água e aos processos hidrológicos e biogeoquímicos que operam no ambiente natural, especialmente em uma represa. A existência de outros trabalhos semelhantes produzidos por outros pesquisadores permitiu se extrair informações valiosas dos dados obtidos mesmo sem que estivessem à disposição dados de campo coletados concomitantemente.

Novos estudos em períodos diferentes do ano, quando o regime hidrológico esteja em outras de suas fases, permitirá ampliar o conhecimento sobre a influência dos rios na qualidade da água da represa de Paraibuna e nos processos biológicos e físicos que ocorrem neste corpo hídrico.

### Referências

- Arst, H. Optical Properties and Remote Sensing of Multicomponential Water Bodies. Springer-Praxis, Chichester, UK, 231 p., 2003.
- 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.
- 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.
- 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.
- Moreira, R. C.; Castro, R. M.; Esposito, E. S. C.; Lucca, E. V. D. Sensor hiperespectral HSS: sumário das características técnicas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12. (SBSR), 16-21 abr. 2005, Goiânia. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8.
- 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.
- Sensytech Inc. AA5201 Airborne hyperspectral scanner system: operator manual. Ann Arbor, Nov 2002, v. 1.

### Agradecimentos

Agradecemos à Divisão de Geointeligência (EGI) do Instituto de Estudos Avançados (IEAv) do Ministério da Defesa pela obtenção e disponibilização dos dados utilizados nesse trabalho. 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.