

CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL DAS ÁGUAS DO RESERVATÓRIO PASSO REAL – RS/BRASIL

Aline Biasoli Trentin, Carline Biasoli Trentin, Flávio Wachholz, Gisieli Kramer,
Waterloo Pereira Filho

INTRODUÇÃO

As diferenças nas condições da água em meios aquáticos podem ser percebidas em relação às transformações que ocorrem nesses ambientes, como a construção de reservatórios, os quais alagam grandes áreas, provocando impactos e modificações significativas no ecossistema. Segundo Kallio et. al. (2001), as águas de lagos são opticamente complexas, sendo que as concentrações de substâncias opticamente ativas variam entre esses ambientes, devido principalmente à diferença na origem das substâncias.

A construção de reservatórios implica em diferentes mecanismos físicos que ocorrem no ambiente, como os processos de movimento e mistura de matéria particulada e dissolvida. Esses mecanismos dentro de um corpo de água resultam em transportes físicos que influenciam nas características do ambiente, como na temperatura e luz. A distribuição espacial dos sedimentos em reservatórios é influenciada pelo recebimento de materiais de seus tributários, o que promove o desenvolvimento de gradientes químicos e físicos dentro de reservatórios implicando na produtividade biológica e na qualidade da água. Nesse caso, os sólidos suspensos e outras matérias particuladas são advindos em maior quantidade em eventos de chuva e consequente elevação do fluxo dependendo da dimensão longitudinal do reservatório (Ford, 1990).

O auxílio da tecnologia de sensoriamento remoto tem importante papel como ferramenta de observação de recursos terrestres e na água por permitir uma avaliação sinótica. Em relação aos corpos de água a energia refletida ao sensor é muito baixa e ocorre em comprimentos de onda correspondentes a faixa da luz visível (385 nm a 700 nm), tendo participação dos seus constituintes opticamente ativos na reflectância. Também nessa faixa a maior parte da energia incidente é absorvida, transmitida ou espalhada dentro do próprio corpo de água.

De acordo com Sturm (1980) o espalhamento da água pura é determinado principalmente pelos sólidos em suspensão, enquanto a absorção é influenciada pela matéria dissolvida. Da mesma forma, Esteves (1998), Dekker (1993), Novo (2001) e Barbosa et. al. (2003), concordam ao afirmar que o comportamento espectral da água pura é determinado pelo espalhamento das moléculas nos comprimentos de onda mais curtos, correspondendo ao coeficiente de absorção mínimo entre 400-600nm, aumentando na região do infravermelho próximo, enquanto o coeficiente de espalhamento é máximo na região do azul e se anula exponencialmente em direção ao infravermelho.

As pesquisas realizadas por Dekker (1993) e Kirk (1994) concluíram que ocorrem faixas espectrais onde apenas uma característica dominante está presente, sendo o sensoriamento remoto espectral útil para determinar a qualidade das águas interiores. Esses processos são produzidos por materiais dissolvidos e em suspensão nos corpos hídricos. A presença de matéria orgânica dissolvida desloca o máximo de reflectância espectral para o verde-amarelo, enquanto que a matéria inorgânica em suspensão resulta num deslocamento do pico de reflectância em direção ao vermelho.

Diretamente em relação ao total de sólidos em suspensão (TSS), a resposta está associada a uma faixa ampla do espectro. Há deslocamento do máximo de reflectância em direção aos maiores comprimentos de onda, principalmente um patamar na região entre 600 e 700nm e maior distanciamento entre as curvas na faixa entre 550-700nm, aumentando a reflectância na região do infravermelho de acordo com o aumento da concentração e do tipo do sedimento (Souza, 1991; Novo, 1992; Goodin et. al., 1993; Arraut et al, 2005; Rudorff et. al, 2005).

Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi caracterizar espectralmente a água do Reservatório Passo Real considerando as variáveis limnológicas. O reservatório Passo Real está localizado em uma das principais bacias hidrográficas do Estado do Rio Grande do Sul (Sul do Brasil), a Bacia Hidrográfica do Rio Jacuí, situada no centro-norte do estado (Figura 1). A extensão deste corpo de água varia em função do nível da água (volume de precipitações e controle de passagem de água no dique/produção de energia), aproximando-se de 220 km². A área alagada possui a contribuição de três afluentes principais: o Rio Jacuí, o Rio Jacuí-Mirim e o Rio Ingaí.

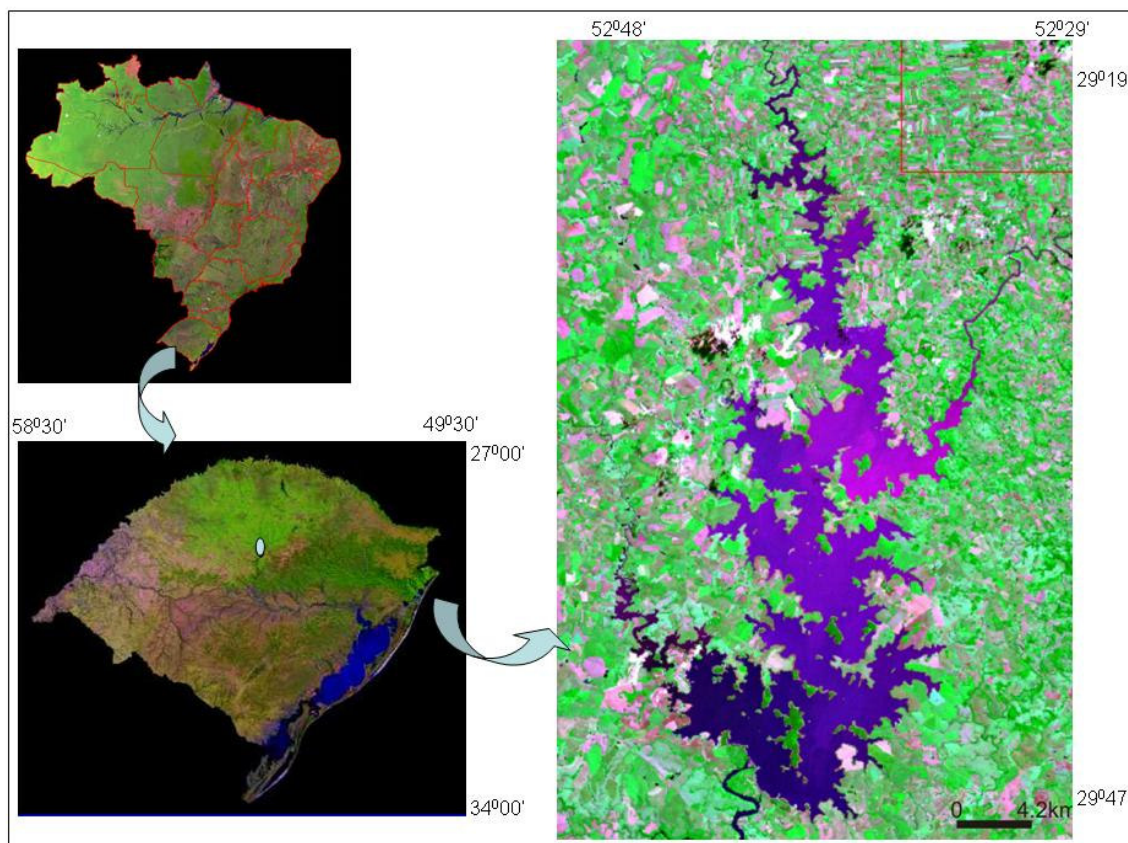


Figura 1: Representação da localização do Reservatório Passo Real.

Fonte: Reservatório Passo Real – Landsat 5 TM 10/10/2008, Brasil e Rio Grande do Sul – Landsat/Embrapa/2004.

METODOLOGIA

A coleta de dados espectrais e limnológicos foi realizada em oito pontos amostrais no reservatório, sendo destes, três da entrada do rio Jacuí (pontos 3, 4 e 5) e dois do Jacuí-Mirim (pontos 1 e 2) e mais três localizados na confluência (pontos 6, 7 e 8). (Figura 2).

Para a obtenção das curvas de reflectância da água nos pontos amostrais supracitados utilizou-se o espectroradiômetro Fieldspec que opera na faixa de 350 a 1050nm do espectro eletromagnético. Porém, a análise ocorreu para a faixa espectral de 400 a 900nm (faixa do visível e infravermelho próximo) devido a presença de ruídos em outros comprimentos de onda. O espectroradiômetro foi calibrado inicialmente a partir de uma placa de sulfato de bário e posteriormente foi realizada a medida da reflectância da superfície da água a uma altura média de 1 metro com ângulo de inclinação de 45°. Em cada ponto amostral foram realizadas quatro medidas de reflectância para se obter uma média. Esses dados foram processados em planilha Excel e as curvas de reflectância geradas com o valor médio para todos os pontos.

Além das medidas espectrais foram observadas as condições da cor e transparência do ponto amostral e amostras de água coletadas para estimar a concentração de total de sólidos suspensos. A transparência da água foi determinada com a utilização do disco de Secchi, lançando o disco branco em água observando a profundidade de seu desaparecimento. O total de sólidos suspensos foi determinado em laboratório. Para a filtragem foram utilizados filtros de celulose de 0,45µm, que previamente foram secados por 24 horas em estufa, a uma temperatura de 50°C, a fim de eliminar a umidade e a obtenção do peso inicial. Posteriormente foi realizada a filtragem e seguidamente os filtros foram recolocados em estufa na mesma temperatura e tempo de permanência utilizado para a obtenção do peso inicial. Completando 24 horas de secagem, os filtros foram pesados obtendo-se o peso final. A partir disso foi possível determinar o TSS (Equação 1).

$$\text{TSS} = [(\text{Peso final} - \text{Peso inicial})/\text{Volume}] \times 1000 \quad (\text{Equação 1})$$

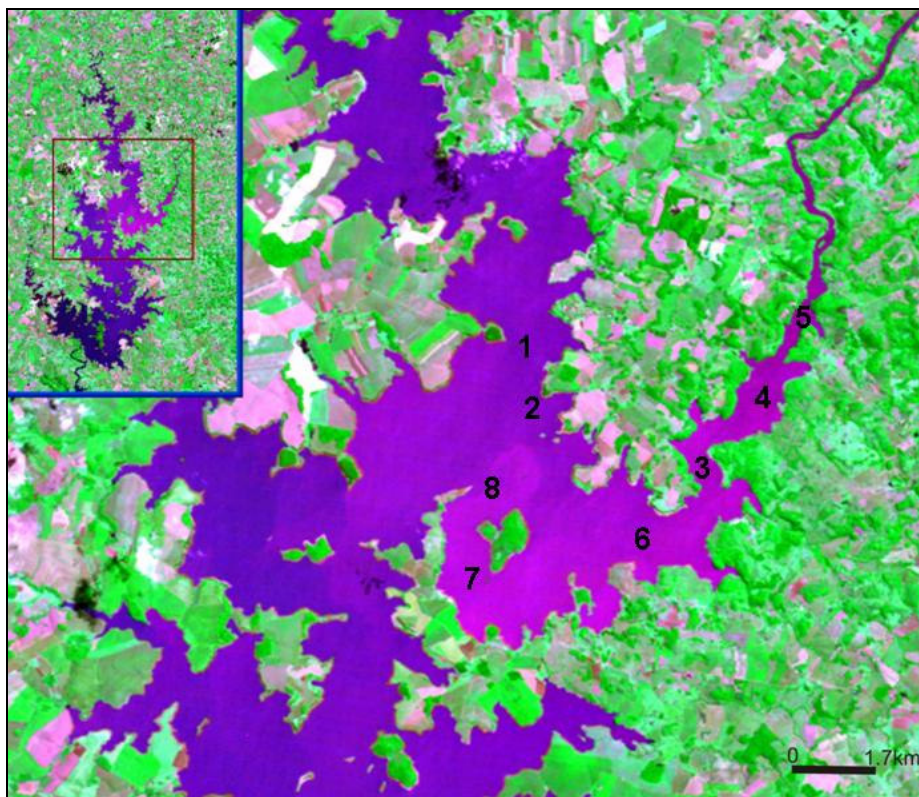


Figura 2: Localização dos pontos amostrais no Reservatório Passo Real.

Fonte: Landsat 5 TM 10/10/2008

RESULTADOS

Com a realização do trabalho de campo no reservatório Passo Real observou-se que nos pontos coletados na porção do Rio Jacuí a cor da água foi marrom-amarelo escuro, enquanto no Rio Jacuí-Mirim e na confluência dos dois sistemas a água apresentou-se em tonalidade mais clara, correspondendo ao marrom-amarelo claro. Essa diferença pode ser explicada devido ao leito do Rio Jacuí apresentar maior quantidade de material suspenso e dissolvido em água, citados por diversos pesquisadores como os principais responsáveis pela tonalidade do ambiente aquático.

A alteração da cor da água deve-se a forte absorção da radiação eletromagnética nos menores comprimentos de onda da faixa do visível, principalmente na região do azul. Com várias bandas de absorção sobrepondo-se, o material orgânico e inorgânico em suspensão apresentam uma curva de absorção semelhante a matéria orgânica dissolvida, que apresenta valores altos no ultravioleta e azul, decrescendo até o verde e valores muito baixos no vermelho (Mantovani e Novo, 1996; Novo, 2001). Quando há o aumento da concentração de matéria orgânica dissolvida em água como em áreas litorâneas ou interiores principalmente onde ocorre a descarga de solo para o interior do corpo de água, a curva espectral tende a deslocar o máximo de reflectância que ocorreria na região do azul para as regiões do verde e vermelho, fazendo com que a cor da água passe a se apresentar amarelada (Bricaud et al, 1981; Mobley, 1994; Novo, 2001).

A presença do total de sedimentos em suspensão (TSS) no Reservatório Passo Real foi maior no ponto PR 5 (14,6 mg/L) onde ainda ocorrem processos da dinâmica de rio na porção do Rio Jacuí. A menor concentração foi encontrada no PR1 (5,2 mg/L) em ambiente com maior massa d'água no Rio Jacuí-Mirim. Da mesma forma que essas substâncias presentes na água alteram a cor do ambiente, influenciam também na camada de água que pode ser observada. Em relação a transparência da água (DS), ocorreram variações entre 45 e 65 cm. Observou-se uma diminuição na direção montante do Rio Jacuí nos pontos 3, 4 e 5, de 65 cm para 60 e 50 cm, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1: Distribuição do total de sedimentos em suspensão e da transparência da água nos pontos amostrais do reservatório Passo Real-RS.

Pontos	TSS (mg/L)	DS (cm)
PR 1	5,2	55
PR 2	8,2	60
PR 3	7,4	65
PR 4	6,6	60
PR 5	14,6	50
PR 6	10,8	60
PR 7	6,4	45
PR 8	12,4	50

Com base na análise das curvas espectrais dos pontos de coleta no reservatório, é possível inferir a presença de três ambientes aquáticos, devido à diferença nas respostas dos rios que fazem parte desse sistema. O albedo da água nos pontos amostrais no Rio Jacuí (3, 4 e 5) apresenta-se menor, se comparado a resposta espectral no Rio Jacuí Mirim (1 e 2). Os pontos 6, 7 e 8 que correspondem a mistura desses dois sistemas de drenagem apresentaram albedos mais semelhantes aos encontrados no Rio Jacuí-Mirim. A Figura 3 representa a distribuição da reflectância espectral da água nos pontos amostrais do reservatório de acordo com a faixa de comprimento de onda entre 400-900nm. Esta faixa corresponde aos comprimentos de onda do visível e infravermelho

próximo onde há reflectância da água, pois nas proximidades dessa faixa ocorrem ruídos e nas demais porções do espectro eletromagnético absorção total da luz.

A figura 3 contendo os espectros de reflectância do reservatório Passo Real demonstra um aumento gradativo da reflectância da água com albedo de 8% a partir de 400nm até aproximadamente 595nm, o pico máximo de reflectância onde os pontos observados são diferenciados pela porcentagem do albedo que varia de 14 a 20%. Em 600nm a reflectância diminui e se mantém em patamar até em torno de 650nm onde novamente diminui conservando a diferença de albedo entre os pontos. Em torno de 695nm ocorre uma diminuição brusca da reflectância onde o albedo diminui para 8%.

A região do espectro onde ocorre o pico de máxima reflectância e o patamar bem definido do albedo da água entre as faixas do verde e vermelho, as curvas espectrais tendem a deslocar-se para os maiores comprimentos de onda. Na literatura se encontram descrições de que esta característica esta relacionada a presença de sólidos em suspensão, devido sua resposta estar associada a uma faixa ampla do espectro, principalmente em patamar na região do vermelho.

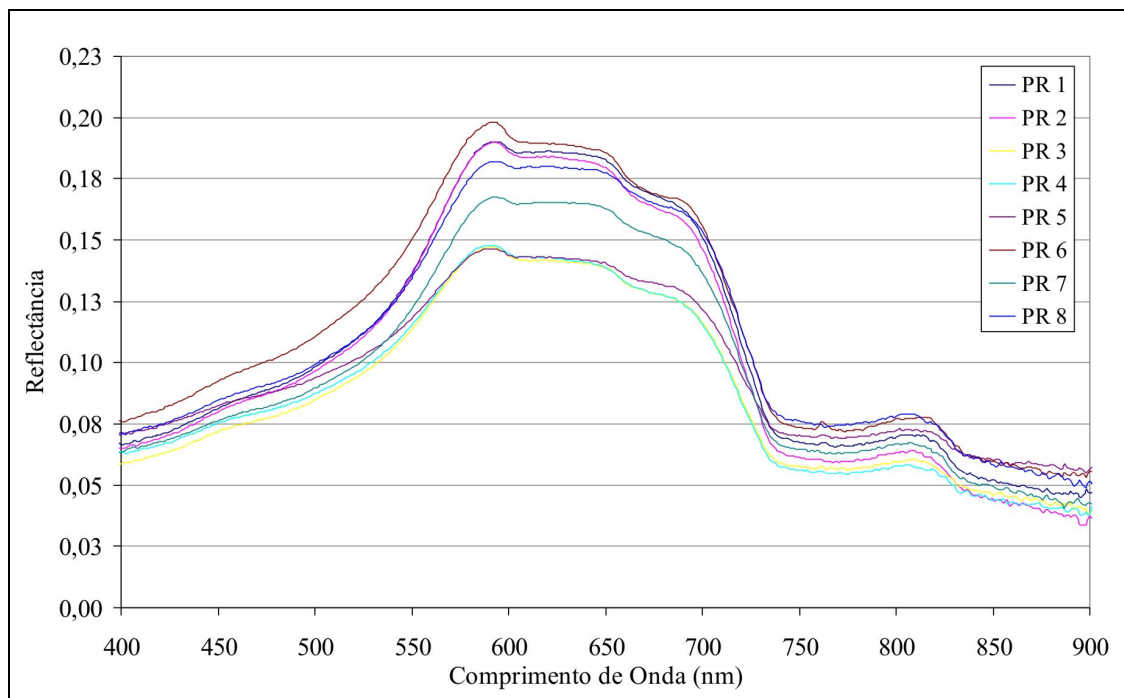


Figura 3: Curvas espectrais dos pontos amostrados no Reservatório Passo Real.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em referência a análise dos resultados obtidos, as variações na cor, transparência e albedo da água podem ser atribuídas principalmente aos sólidos em suspensão presentes no corpo de água, uma vez que a montante do corpo hídrico ocorre maior concentração de materiais provindos das bacias hidrográficas, enquanto no sistema que possui maior massa d'água (posição jusante dos tributários), esses sólidos em suspensão sofrem processos hidrodinâmicos de mistura e deposição.

Pode-se concluir que estudos voltados à ambientes aquáticos, considerando coleta de dados limnológicos e utilizando técnicas de sensoriamento remoto, demonstram grande importância para o entendimento da dinâmica de reservatórios.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio através do Projeto n° 484712/2007-1.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arraut, E. M. et al. Estudo do comportamento espectral da clorofila e dos sólidos em suspensão nas águas do Lago Grande de Curuai (Pará), na época da seca, através de técnicas de espectroscopia de campo. **Anais... XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia/GO, 2005, INPE, p. 2447-2456.

Barbosa, C. C. F., et. al.. Caracterização espectral das massas d'água amazônicas. **Anais... XI SBSR**, Belo Horizonte, Brasil, abril 2003, INPE, p. 2419 - 2425.

Bricaud, A.; Morel, A.; Prieur, L. Absorption by dissolved organic matter of the sea (yellow substance) in the UV and visible domains. **Limnology Oceanography**, v. 26, n. 1, 1981. p. 43-53.

Dekker, A. G. **Detection of optical water quality parameters for eutrophic waters by high resolution remote sensing**, PhD Thesis. Amsterdam, Netherlands: Vrije Universiteit, 1993. 240 p.

Esteves, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

Ford, D. E. Reservoir transport processes. *In*: Thornton, K. W., et al. **Reservoir Limnology: Ecological perspectives**. John Wiley & Sons: New York, 1990.

Goodin, D. G., et. al. Analysis of Suspended Solids in Water Using Remotely Sensed High Resolution Derivative Spectra. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Vol. 59, No. 4, April 1993, pp. 505-510.

Kallio, K. et al. **Retrieval of water quality from airborne imaging spectrometry of various lake types in different seasons**. *The Science of the Total Environment*, v. 268, 2001, 59-77.

Kirk, J. t. O. **Light e photosynthesis in aquatic ecosystems**. 2ed. Cambridge University Press: New York, 1994.

Mantovani, J. E.; Novo, E. M. L M. Comportamento espectral da matéria orgânica dissolvida. **Anais... VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Salvador – Brasil, 1996, INPE, p. 917-923.

MIRANDA, E. E. de; COUTINHO, A. C. (Coord.). **Brasil Visto do Espaço**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004. Disponível em: <<http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 02 fev. 2009.

Mobley, C. D. **Light and water: radiative transfer in natural waters**. San Diego: Academic Press, 2004. CD-ROM.

Novo, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 2 ed. Edgard Blücher, 1992.

Novo, E. M. L. M. Comportamento Espectral da Água. *In*: Meneses, P. R.; Madeira Netto, J. da S. (orgs). **Sensoriamento Remoto: Reflectância dos Alvos Naturais**. Brasília: UnB; Embrapa Cerrados, 2001. p.203-222.

Rudorff, C. de M. et. al.. Avaliação de algoritmos bio-óticos em massas d'água amazônicas. **Anais...** XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, abril 2005, INPE, p. 431-438.

Souza, R. B. de, et. al.. Efeito da concentração de dois tipos de sedimento em suspensão sobre a colorimetria e reflectância da água. **Anais...** Latin American Simposium on Remote Sensing, Cuzco, 1991.

Sturm, B. Optical properties of water-applications of remote sensing to water quality determination. *In*: Fraysse, G. **Remote Sensing applications in agriculture and hidrology**. Rotterdam, Balkema, 1980.