

## Índices pluviométricos nas áreas de captação do reservatório Passo Real-RS e sua influência na reflectância da água medido pelo MODIS

Daniela Wancura Barbieri<sup>1</sup>

Waterloo Pereira Filho<sup>1</sup>

1 Universidade Federal de Santa Maria – UFSM  
Centro de Ciências Naturais e Exatas - CCNE / Departamento de Geociências  
Prédio 17 - CEP 97105-970 - Santa Maria - RS, Brasil  
{daniwbarbieri, waterloopf}@gmail.com

**Abstract.** The water's reflectance related to the pluviometrical levels allows identifying the time between the rain and its effect on the aquatic system. As presented, this study has the purpose of settling a relation between the pluviometrical level and the value alteration in the water's reflectance levels in the aquatic environment defined by the UHE Passo Real's reservoir. Ten MODIS (MOD09) images, from the NASA Image Catalogue, and pluviometrical rainfall data from 47 stations of Civil Defense of the State of Rio Grande do Sul were used. In the data analysis the accumulation of pluviometrical rainfall of 5, 10, 15, 20, 25 and 30 previous days was related to the passage of the satellite, for each selected date, with reflectance data on the red band. The reservoir was divided in five sectors: Ingaí river, Jacuí Mirim river and Jacuí river in half course and low course. There was a different result caused by rain in the water reflectance of the reservoir. On this way, it was observed that the transition section between the river and the reservoir showed the bigger impacts related to the rain. Therefore, in general, the satellite images registered the rain effects during a period of twenty days before its passage, having the best outcomes in the samples referring to Jacuí river.

**Palavras-chave:** rainfall, aquatic systems, remote sensing, precipitação, sistemas aquáticos, sensoriamento remoto.

### 1. Introdução

O sensoriamento remoto é uma ferramenta que torna possível a aquisição de informações para análise espacial e temporal de ambientes aquáticos integrando bacia hidrográfica e drenagem. Novo et al. (2007) destaca algumas vantagens dos dados do *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) para aplicações ligadas aos estudos dos sistemas aquáticos, sendo a primeira a largura da faixa de recobrimento que permite a aquisição de grandes extensões de rios e lagos, quando comparados a outros sensores de pequena área de recobrimento, onde são necessárias várias cenas para recobrir uma região. Para a autora a outra grande vantagem está ligada à resolução radiométrica a qual permite registrar variações de sinal e 4.096 níveis, ou seja, 12 bits. Essa diferença de níveis permite, portanto, demonstrar a riqueza de informação presentes na cor da água.

O produto MOD09 é uma estimativa da reflectância na superfície, utilizado para estudo em sistemas aquáticos continentais, sendo seus dados computados a partir das bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 com os comprimentos de onda de 0,648, 0,470, 0,555, 1,240, 0,640, e 2,130  $\mu\text{m}$ , respectivamente. As informações espaciais sobre corpos d'água, tais como tamanho, forma, variação ao longo do tempo decorrentes de problemas climáticos, antropogênicos, e informação espectral e radiométrica sobre a superfície e coluna d'água, sendo relevante a cor e o brilho da água podem ser extraídas do produto MOD09 (NOVO, et al. 2007). A precipitação dependendo da intensidade, duração e frequência pode ser considerada um forte elemento natural de degradação, associado à erosão dos solos e ao transporte de materiais alterando a topografia do local, ou de uma bacia hidrográfica. O total pluviométrico do local associado ao uso da terra poderá apresentar forte influência nos sólidos em suspensão

de corpos de água, alterando a reflectância da água. O transporte e a deposição do material em suspensão são processos dominantes em reservatórios, pois estes geralmente recebem maior contribuição de seus tributários, promovendo desenvolvimento de gradientes físicos e químicos implicando na produtividade biológica e na qualidade da água (THORNTON, 1990).

A carga sólida (Totais Sólidos em Suspensão -TSS) é um dos maiores problemas em rios, reservatórios, pois dificulta a passagem da luz na água e representa o resultado das atividades do metabolismo aquático e das atividades desenvolvidas no meio terrestre (SILVA, et al., 1996; WACHHOLZ, 2007) . Neste contexto a utilização de sensoriamento remoto para o estudo da qualidade da água fundamenta-se no fato de que elementos, tais como material orgânico e inorgânico, em suspensão e dissolvido, alteram as características espectrais da água (RUDORFF, 2006).

Assim, a reflectância da água relacionada aos índices pluviométricos permite a caracterização das suas alterações naturais e severas na bacia hidrográfica. Novo (1988) comenta que a reflectância de um dado sistema aquático contém informações sobre a concentração e o tipo de componentes opticamente ativos no volume da água. Neste sentido, o presente estudo tem o objetivo estabelecer a relação entre o índice pluviométrico e as alterações nos valores de reflectância da água no ambiente lântico definido pelo reservatório da Usina Hidrelétrica Passo Real - RS.

### 1.1 Área de estudo

O reservatório Passo Real considerado o maior lago artificial do Rio Grande do Sul, encontra-se no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Jacuí, tendo três sub-bacias que o abastecem: Rio Ingaí, Rio Jacuí-Mirin e Rio Jacuí. Está localizado entre as coordenadas 28° 39' 7" a 29° 02' 50" de Latitude Sul e 53° 03' 14" a 53° 16' 13" de Longitude Oeste, encontrando-se na região fisiográfica do Planalto Médio (Figura 1). O reservatório tem extensão que varia em função do nível da água aproximando-se de 220km<sup>2</sup> e um volume de 3.671 km<sup>3</sup> (TRENTIN, 2009).

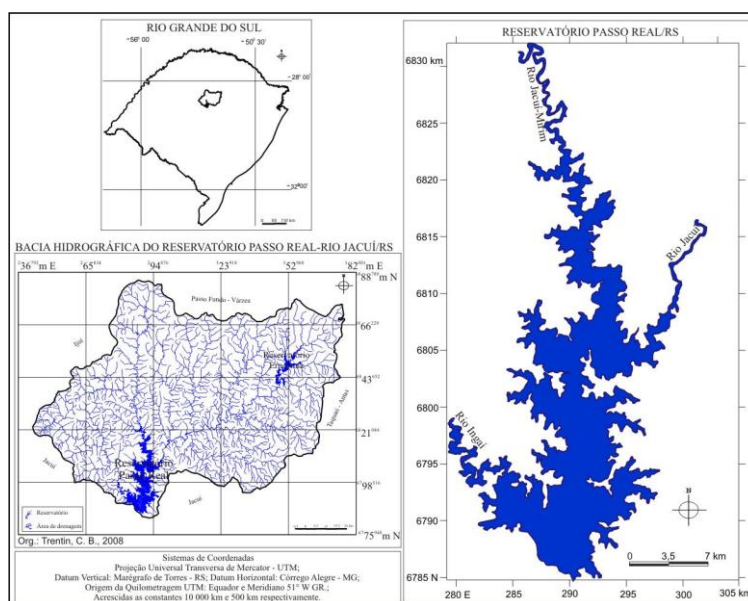


Figura 1 – Mapa de localização do Reservatório Passo Real.

Fonte: Trentin, (2009).

## 2. Metodologia de Trabalho

## 2.1 Dados de reflectância

Para realização da pesquisa utilizou-se imagens do sensor MODIS provenientes do catálogo de imagens da NASA. Os Produtos MOD09 estão disponíveis no website da EOS (Earth Observing System Data) sendo estes referente ao tile h13v11.

Os dados MOD09, originalmente na projeção integerized sinusoidal e no formato .hdf, foram convertidos para a projeção UTM e formato GeoTiff com o uso da ferramenta do MODIS Reprojection Tool.

Como o produto MOD09GQ apresenta apenas as bandas do vermelho e infravermelho (banda 1 e 2, respectivamente), foi necessária a reamostragem da banda azul e verde (banda 3 e 4) oriunda do produto MOD09GA da resolução de 500 para 250 m.

Todo o processamento das imagens foi realizado utilizando-se o programa ENVI versão 4.2. Foram escolhidas 10 cenas para que representasse um ano hidrológico conforme especificado na Tabela 1.

Tabela 1:Imagens selecionadas

Mês	Data Selecionada
Janeiro	22-01-2009
Março	18-03-2009
Abril	17-04-2009
Maió	21-05-2009
Junho	13-06-2009
Julho	04-07-2009
Agosto	13-08-2009
Setembro	21-09-2009
Outubro	28-10-2009
Novembro	29-11-2009

Com os valores de reflectância foram realizados testes para averiguar qual banda do MODIS apresentava melhor correlação com dados de precipitação pluviométrica. Neste sentido, apenas a banda do vermelho foi utilizada para análise de reflectância, apresentando melhores resultados, de tal modo Pereira Filho e Galvão (1997) identificaram um aumento na reflectância na faixa do vermelho do espectro eletromagnético para o reservatório Passo Real.

Para averiguar a reflectância da água no reservatório foram definidos setores no mesmo que representasse cada área de captação, ou seja, Ingaí, Jacuí-Mirim e Jacuí, Médio Curso e Dique (Figura 2), os pontos utilizados para cada setor foram originalmente determinados para a coleta de dados limnológicos.

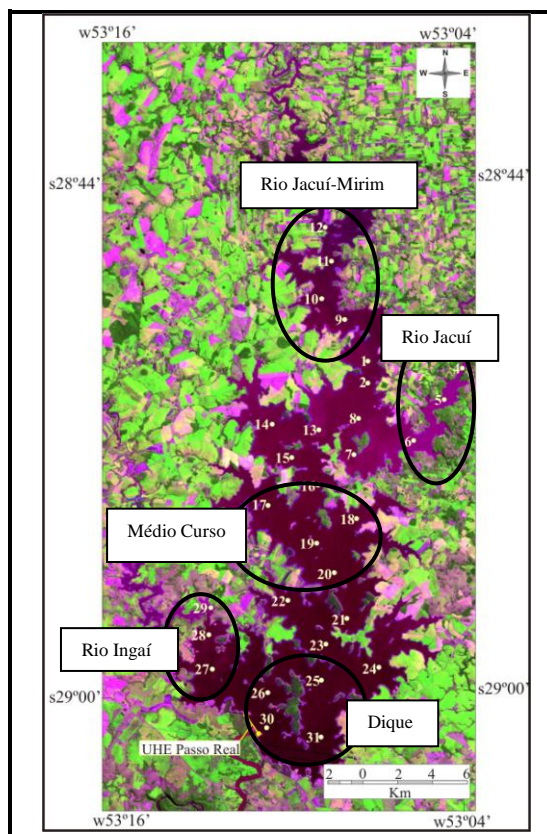


Figura 2: Representação dos pontos amostrais no reservatório Passo Real e pontos utilizados em cada setor do reservatório

Nesses pontos foram obtidos espectros de reflectância, das quatro bandas processadas. Esses dados serviram de suporte a análise, no intuito de identificar a participação dos sólidos em suspensão sobre os espectros.

## 2.2 Dados de precipitação pluviométrica

Os dados utilizados para a realização da pesquisa foram provenientes das estações pluviométricas administradas pela Defesa Civil do Rio Grande do Sul, (<http://www.defesacivil.rs.gov.br/>). Foram obtidos dados das estações pluviométricas que se encontravam em municípios localizados nas bacias hidrográficas, calculou-se a média aritmética de precipitação dos 47 municípios para cada dia.

A precipitação no Rio Grande do Sul conforme Sartori (2003) apresenta uma distribuição relativamente equilibrada das chuvas ao longo de todo o ano, porém para a autora são os fatores de natureza dinâmica os responsáveis pela gênese dos estados de tempo, que definem o clima no Rio Grande do Sul a partir do mecanismo sazonal de atuação dos sistemas atmosféricos regionais.

Para que fosse feita a análise e a relação com a reflectância calculou-se o total de precipitação pluviométrica em 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias anteriores a passagem do satélite.

## 3. Resultados e Discussão

Considerando que a precipitação associada ao uso da terra apresenta fortes influências no transporte de material das bacias de captação, verificou-se o aumento da reflectância devido a diferença nas respostas dos rios que fazem parte desse sistema.

Os índices pluviométricos acumulados em 25 dias na bacia de captação foi de 415 mm (Figura 3 B) no mês de novembro, de acordo com Wachholz (2007) caracterizam-se por fase

de solo exposto, com maior susceptibilidade de perdas de solos. No entanto, foi possível verificar que a reflectância atingida de 1,97 % foi próxima da encontrada para um acúmulo de 300 mm (Figura 3A), indicando que a partir de certa quantidade de chuva os valores de reflectâncias na água tendem a estabilizar o que aponta para uma saturação dos sólidos em suspensão.

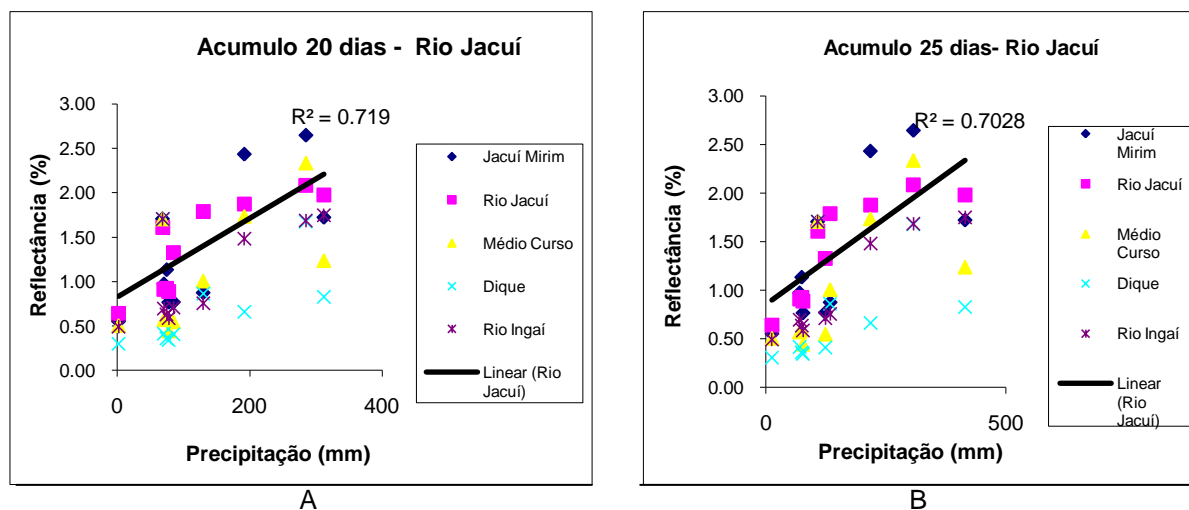


Figura 3: Dispersão da precipitação pluviométrica com a reflectância para 20 e 25 dias de acúmulo

Em relação à resposta da precipitação na reflectância do reservatório foi observada uma variação conforme o acumulado de dias. As maiores correlações foram encontradas para o acúmulo de 20 dias em praticamente todos os setores analisados no reservatório, exceto do setor do Rio Ingaí.

Na Figura 4 são apresentados as correlações de Pearson entre os valores das variáveis reflectância e precipitação onde são destacados as correlações estatisticamente significativas para 95% de confiança (Callegari-Jacques, 2003).

Conforme pode ser visualizado na Figura 4 as melhores correlações foram nos três principais rios que abastecem o reservatório, que indicam a reflectância aumenta com o aumento das precipitações pluviométricas, ao contrário do que acontece na área central do reservatório e Dique, onde os totais de sólidos em suspensão tende a precipitar, devido ao processo hidrodinâmico do reservatório.

A reflectância relacionada aos acúmulos de índices pluviométricos para 20 dias tiveram maior correlação na área de captação do Rio Jacuí e Jacuí Mirim. As águas provenientes da sub-bacia do Rio Ingaí apresentaram os menores valores de correlações se comparada aos outros tributários até o acúmulo de 20 dias porém teve seu pico com 25 dias de acúmulo de chuva, ou seja, provavelmente devido a menor velocidade da água neste compartimento aquático.

Em 5 dias de acúmulo houve a resposta imediata da precipitação pluviométrica nos valores de reflectância. Considera-se que as condições de entorno mais plana permitem atividades agrícolas favorecendo o carregamento de materiais para o reservatório. Sendo os totais de sólidos em suspensão os principais responsáveis pelo aumento da reflectância em direção ao comprimento de onda do vermelho. Ao contrário as correlações encontradas para o setor do dique não foram significativas em função da precipitação dos sólidos.

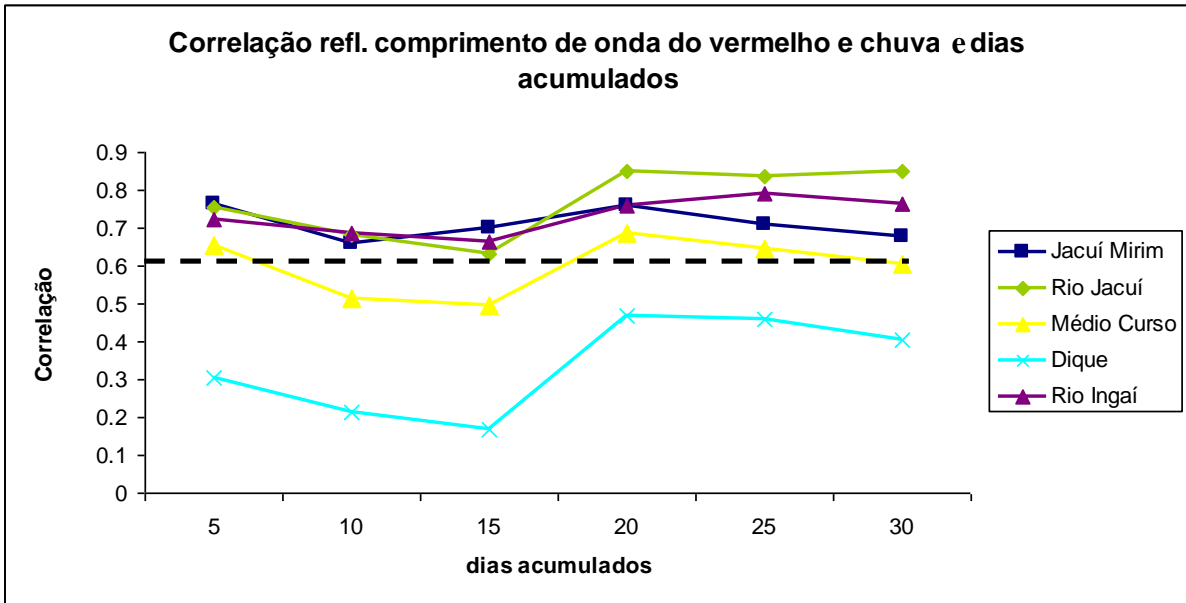


Figura 4: valores de correlações e dias acumulados por setor do reservatório PR (linha tracejada representa o limite obtido para um nível de significância de 95%)

A Figura 5 apresenta o comportamento da reflectância no dia 13 de agosto de 2009. O dique apresenta as menores reflectâncias do reservatório, sendo que para este setor as correlações não foram significativas. No entanto, pode ser verificado que quanto mais a jusante do reservatório menor são os valores de reflectância isso se dá, provavelmente, devido a precipitação dos sólidos em suspensão no sentido montante a jusante (Figura 6B). Período chuvoso imediatamente posterior a um período normal de chuvas, associado a cota mínima do reservatório no ano hidrológico proporcionou uma melhor definição de compartimentos aquáticos para essa data.

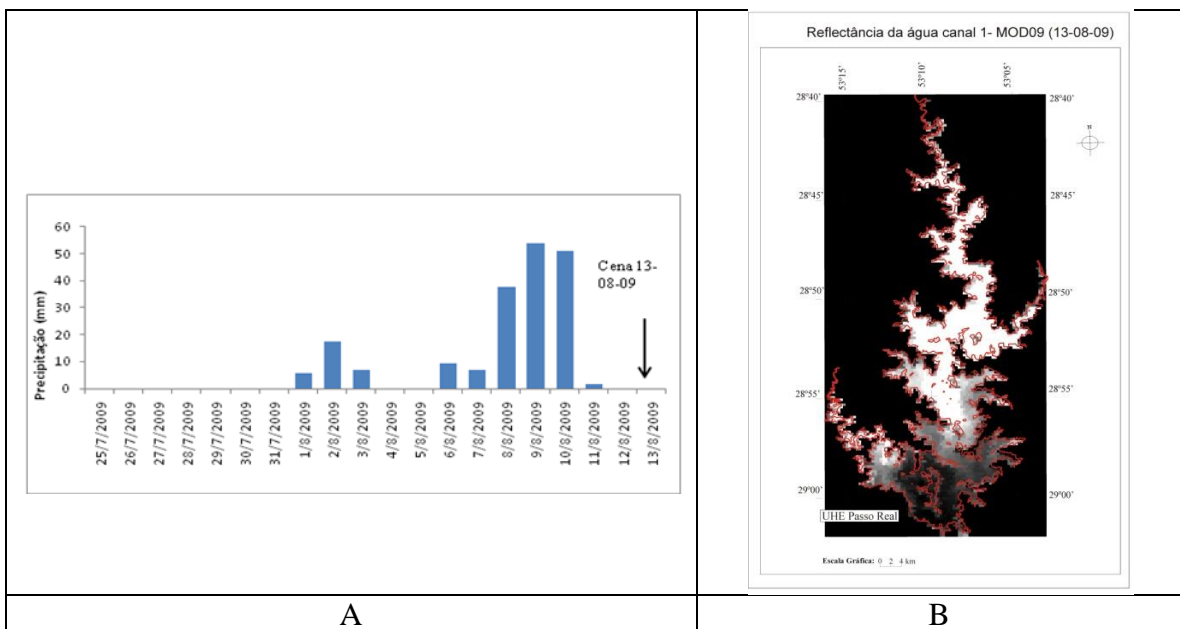


Figura 5: Caracterização da cena do dia 13-08-2009 (Banda 1- MOD09)



#### 4. Conclusões

Com a conclusão da presente pesquisa faz-se necessário retomar ao objetivo proposto onde é “estabelecer a relação entre o índice pluviométrico e as alterações nos valores de reflectância da água no ambiente lântico definido pelo reservatório da UHE Passo Real”, o objetivo foi atingido sendo que foi levada em consideração o acumulo pluviométrico de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias anteriores a passagem do satélite e estabeleceu-se através das correlações relacionadas a chuva acumulada em 20 dias foi que melhor representou o impacto da chuva sobre a reflectância da água registrada em imagens MODIS no Reservatório Passo Real.

Foi possível concluir que existem diferenças espectrais entre as áreas de captação do reservatório que podem estar associadas as diferenças do uso da terra. Em relação aos índices pluviométricos percebeu-se que quanto maior os valores dos índices de chuva maior é a reflectância. Seguindo a tendência em que as precipitações influenciam nos padrões de reflectância do reservatório, períodos em que solo se encontra exposto, poderão impactar ainda mais os valores de reflectância.

#### Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq (processo 484712/2007-1) pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa e a CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

#### Referências Bibliográficas

Callegari-Jacques, S. M. **Bioestatística**: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artmed, 2003.

Novo, E. M. L. M., Utilização de dados de Sensoriamento Remoto em Estudos Ambientais. **Geografia**, v. 13, 25, n. 25, p. 43-51,1988.

Novo, E. M. L. M.; Barbosa, C. C. F.; Freitas, R. M.; Sistemas Aquáticos Continentais. In: Rudorff, B. F. T.; Shimabukuro, Y. E.; Ceballos, J. C. (Org.). **O sensor MODIS e suas aplicações no Brasil**. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007. cap. 20, p.277-294.

Pereira Filho, W.; Galvão, L. S. Relações entre reflectância espectral e concentração de sedimentos em suspensão no reservatório Passo Real, região Sul do Brasil. In: Simposio Latinoamericano de Percepcion Remota, 8., 1997, Mérida, **Anais...**, Mérida: Selper, 1997.

Rudorff, C. M. **Estudo da composição das águas da planície amazônica por meio de dados de reflectância do sensor hyperion/EO-1 e de espectrômetro de campo visando a compreensão da variação temporal dos seus constituintes opticamente ativos**. 2006-03-31. 140 p. (INPE-14166-TDI/1083). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2006.

Sartori, M.G.B. A dinâmica do clima no Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. **Terra Livre**. São Paulo, ano 19, v.1, n.20, p.27-49. jan/jul.2003.

Silva, O. F.; Novo, E. M. L. M.; Krug, T. Distribuicao espaco-temporal dos totais solidos em suspensao do reservatorio Tucuruí/PA através de dados in situ e TM-Landsat. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. p. 387-392. CD-ROM. ISBN 85-17-00014-5. (INPE-6168-PRE/2257). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/deise/1999/01.27.15.40>>. Acesso em: 07 nov. 2010.

Trentin, A. B. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo do comportamento espectral da água no reservatório Passo Real – RS. 2009. 97p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

THORNTON, K. W. Perspectives on reservoir limnology. In: THORNTON, K. W.; KIMMEL, B. L.; PAYNE, F. E.. **Reservoir Limnology**: Ecological perspectives. JohnWiley & Sons: New York, 1990.

Wachholz, F. Compartimentação aquática do reservatório Rodolfo Costa e Silva-RS, a partir de variáveis limnológicas e imagens orbitais. 2007 . 97f.. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.