

CARACTERIZAÇÃO LIMNOLÓGICA DO RESERVATÓRIO RODOLFO COSTA E SILVA – ITAARA/RS-BRASIL

Fábio Marcelo Breunig

Pós-graduação em Sensoriamento Remoto - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

fabiobreunig@gmail.com

Flavio Wachholz

Pós-graduação em Geografia - Universidade Estadual de São Paulo– UNESP-Rio Claro

fwalemao@gmail.com

Waterloo Pereira Filho

Departamento de Geociências - Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

waterloopf@gmail.com

Bruno Rodrigues do Prado

Pós-graduação em Sensoriamento Remoto - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

prado@dsr.inpe.br

Resumo: O Brasil, devido a sua extensão, apresenta muitos ambientes aquáticos como rios, lagos e represas. Contudo, problemas de assoreamento, poluição e a exploração dos recursos hídricos de forma inadequada são cada vez mais freqüentes. Neste contexto, o trabalho tem por objetivo caracterizar alguns parâmetros limnológicos medidos em um reservatório de clima subtropical na região sul do Brasil. A área de estudo é o reservatório Rodolfo Costa e Silva, localizado no centro do Rio Grande do Sul. Através de inspeção de campo, foram medidos os seguintes parâmetros limnológicos: pH, temperatura e transparência do disco de Secchi e a partir de amostras de água foi determinado o Total de Sólidos em Suspensão (TSS) em laboratório. No total foram amostrados 21 pontos, distribuídos espacialmente de forma a representar todos os ambientes do reservatório. Após a coleta, os dados foram interpolados (krigeagem) e analisados. As medidas de TSS mostraram uma maior concentração no setor norte do reservatório (parte a montante) e no centro jusante do reservatório. Os resultados sugerem que o TSS no norte está associado a materiais orgânicos e inorgânicos provenientes das bacias hidrográficas, enquanto que no ponto centro jusante o maior valor de TSS parece estar relacionado à presença de clorofila. Foi observado um aumento na transparência da água (medida pelo disco de Secchi) no sentido montante para jusante, com o valor máximo de 130 cm. Uma significativa correlação ($0,73$ a $\alpha = 0,05$) entre condutividade elétrica e temperatura da água a um metro de profundidade foi encontrada. Medidas de pH da água evidenciaram a existência de dois grandes compartimentos: uma região com características mais alcalinas no sul do reservatório e outra região com tendência a acidez no centro e norte do reservatório. Estas variações de pH parecem estar associadas à diferenças no uso da terra nas proximidades das margens. Foi observada a presença de diferentes compartimentos aquáticos e suas origens estão relacionadas ao ambiente externo ao reservatório.

Palavras-chave: Limnologia, total de sólidos em suspensão, transparência da água.

Abstract: Because it has large extension, the Brazil presents many aquatic environments. There are represented by rivers, lakes and reservoir (dams). However, problems like over exploration, water pollution and siltation are very common. In this way, some limnological parameters were evaluated to characterize a subtropical water reservoir on Southern of Brazil. For this study the Rodolfo Costa e Silva reservoir was selected. It is located on central area of Rio Grande do Sul State – Brazil. A field work was conducted to *in loco* collection of some limnological parameters (pH, water temperature and water transparence by Secchi disc) and to water sampling for laboratory measure of the Total of Suspended Sediments (TSS). On the total 21 sample points were sampled. This sample points were distributed to comprise all reservoir environments. After data collection, an interpolation (kriging) was

performed and the results were analyzed. Measurements of TSS showed a greater concentration of TSS on North of the reservoir and in the center of the downstream. The results suggest that the TSS of North is associated with the sediments carried out by the watershed and another site in the centre of reservoir may be associated with a chlorophyll concentration. The Secchi disc transparency showed a gradual increase from upstream to downstream, with a maximum of 130 centimeters. A significant correlation (0,73 a $\alpha = 0,05$) was found between water temperature and electric conductivity at one meter depth. The pH measures showed the presence of two large water compartments represented by one alkaline region, on South of the reservoir and, an acid region on center-North. This pH difference seems to be associated to different land use over reservoir edges.

Keywords: Limnology; total of suspended sediments; water transparency.

1. Introdução e justificativa

O impacto das atividades humanas nos ecossistemas aquáticos tem gerado uma série de problemas (Jobin, 1998). Neste sentido as pesquisas limnológicas têm despertado interesse crescente, visto que seus resultados podem ser amplamente aplicados para a conservação desses ambientes. O estudo de lagos, rios e áreas alagadas apresentam uma importância cada vez maior na sociedade, em que a poluição é um dos principais problemas a ser enfrentado. A grande disponibilidade de água doce no Brasil e sua condição ambiental heterogênea coloca para o país muitas possibilidades das pesquisas limnológicas.

Os impactos sobre lagos, reservatórios e rios são inúmeros, destacando-se a variação da temperatura, oxigênio dissolvido, sólidos em suspensão, concentração de nutrientes, modificação da hidráulica, aumento da concentração de mercúrio e ação dos gases do efeito estufa (CSAEHT, 1993; CUSGS-WRR, 2002; Norling et al, 2004). Do mesmo modo, a construção de um reservatório tem implicações hidrodinâmicas, no deslocamento e concentração de sólidos em suspensão, na temperatura, mudanças na disponibilidade de alimentos e nos habitats da fauna e flora aquáticos (CRGCES – WSTB, 1991; Jobin, 1998). Este impacto também é verificado a jusante e montante do reservatório (Esteves, 1998). Contudo, ainda são poucos os estudos que exploram os dados limnológicos no contexto das aplicações.

2. Objetivo

O trabalho tem como objetivo avaliar características limnológicas do reservatório Rodolfo Costa e Silva, com destaque para o TSS, transparência da água, pH, temperatura e condutividade elétrica.

3. Metodologia

O reservatório Rodolfo Costa e Silva tem ocupa a área de 275 hectares, e está localizado no limite entre os municípios de Itaara e São Martinho da Serra, na região central do estado do Rio Grande do Sul, no sul do Brasil. A Figura 1 mostra a localização da área de estudo. O reservatório se encontra em uma região de clima subtropical, com temperatura média anual de 19 °C e precipitação média anual é

de 1500 mm. A umidade média relativa anual é de 80% (OES-INPE, 2006). A bacia encontra-se numa área predominantemente formado por solos argilosos com uso agropecuário.

Com o auxílio de um barco foram amostrados 21 pontos no reservatório, cuja localização foi previamente definida para abranger todos os compartimentos aquáticos do reservatório. Os pontos amostrais foram registrados via GPS (Sistema Global de Posicionamento), permitindo uma localização com um erro de aproximadamente 9 m. Os pontos amostrados foram transferidos para um aplicativo de geoprocessamento e as informações obtidas em campo foram combinadas, interpoladas e eventualmente corrigidas.

A coleta dos dados limnológicos foi feita entre as 15h e 18h do dia 20 de outubro de 2005, em condições de céu limpo. A medida de temperatura do ar a cerca de 50 centímetros acima do nível da água foi observada através de um termômetro digital. Aliado as medidas no local, foram coletados dados de temperatura do ar e de velocidade do vento no Observatório Espacial do Sul (OES), para o período da coleta de dados limnológicos.

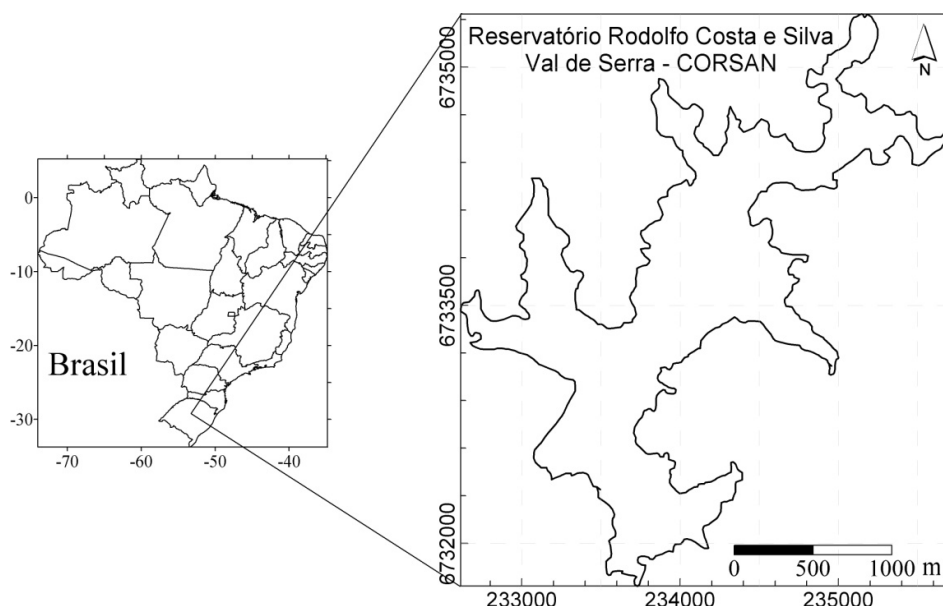


Figura 1. Localização do Reservatório Rodolfo Costa e Silva, no centro do estado do Rio Grande do Sul – Brasil. OBS: O mapa em destaque foi gerado na Projeção Universal Transversa de Mercator – UTM. Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano de 51° W. GR., acrescidos das constantes 10000 e 500 km, respectivamente.

As medidas de transparência da água foram feitas utilizando um disco de Secchi, que consiste em afundar um disco branco com aproximadamente 25 cm de diâmetro, e verificar a que profundidade ele desaparece do campo de visão do observador. A profundidade em que não é mais possível ver o disco corresponde à profundidade de Secchi, conferindo a transparência da água.

As medidas de temperatura da água, condutividade elétrica e o total de sólidos dissolvidos (TDS) foram feitas para três profundidades: Sub-superfície (aproximadamente 10 cm de profundidade), 1 m e 3 m de profundidade com o uso de condutivímetro ORION (Thermo Research, 2008). Para as medidas

de pH da água foi utilizado um pHmetro (Thermo Research, 2008). O pH da água foi obtido apenas para a profundidade de sub-superfície.

Em relação ao total de sólidos em suspensão, após a coleta, utilizou-se membranas HA em Ester de celulose, com porosidade de $0,45\mu\text{m}$, diâmetro de 47 milímetros, branca e quadriculada, para fazer a filtragem da água. As membranas foram pesadas antes e depois das filtrações, sendo que a diferença de peso corresponde ao total de sólidos em suspensão (TSS). Sucintamente, o TSS foi obtido a partir da Equação 1. Antes da pesagem as membranas/filtros foram postas em uma estufa a uma temperatura de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ para secar e eliminar a umidade, por um período de 24 horas.

$$TSS = \frac{P_f - P_i}{V} * 1000 \quad \text{Eq. 1}$$

Onde P_f é o peso final, P_i é o peso inicial dos filtros e V é representa o volume de água filtrada.

Os dados coletados em campo e medidos em laboratório foram analisados em pacotes geoestatísticos e aplicativos de geoprocessamento. Para interpolar os dados foi utilizada a krigeagem ordinária.

4. Resultados e discussões

Considerando as medidas de temperatura do ar a 50 cm acima da superfície (Figura 2), verifica-se que ocorre uma grande variação considerando os compartimentos aquáticos. Em geral, as áreas caracterizadas pelas mais elevadas temperaturas encontram-se abrigadas do vento. Ressalta-se também que durante a coleta dos dados o vento foi fraco e direção oeste. Essas condições tornam possível um maior aquecimento da água e menor turbulência da água. As medidas de temperatura coletadas no OES oscilaram em torno de $28\text{ }^{\circ}\text{C}$.

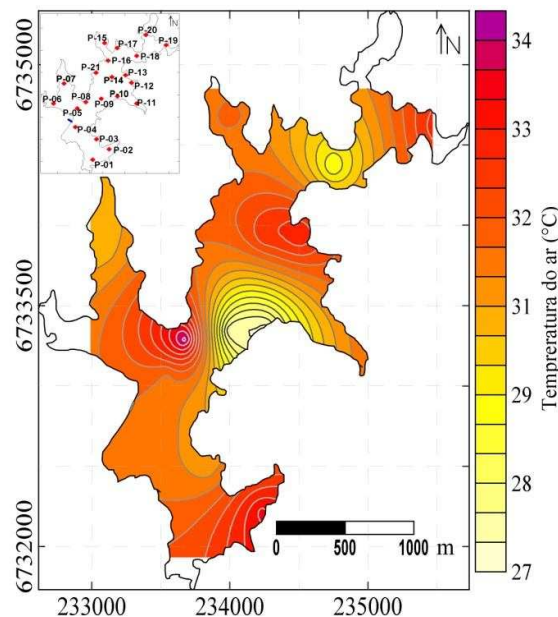


Figura 2. Variação da temperatura do ar nos pontos amostrados (50 cm da superfície). Os extremos do reservatório não foram interpolados para evitar estimativas errôneas.

É sabido que lagos e reservatórios apresentam um gradiente de temperatura da água de acordo com a profundidade, em geral associado às condições sazonais e climáticas (Wetzel, 1983; Esteves, 1998). Assim, foram feitas medidas de temperatura da água em sub-superfície (cerca de 5 – 10 cm de profundidade), a um metro e três metros de profundidade. Os resultados podem ser vistos na Figura 3.

Na sub-superfície (5-10 cm) a temperatura da água apresentou a maior amplitude térmica ao longo de todo o corpo hídrico, concordando com Hutchinson (1957) e Esteves (1998). Os pontos amostrais P-04, P-07 e P-19 apresentaram as menores temperaturas, possivelmente devido à contribuição dos tributários ao maior volume de água no ponto P-04. Especialmente no P4 isso ocorre provavelmente devido ao maior volume de água. O ponto P-02 apresentou maior temperatura, e de acordo com a inspeção de campo, corresponde a uma área de baixa turbulência. Esta área está abrigada em três quadrantes (W-N-E) em função do relevo colinoso do entorno, sendo que o vento apenas consegue agir neste compartimento se tiver origem do sul (S) (Figura 3a).

Considerando a profundidade de um metro as medidas mostraram um pequeno deslocamento da maior temperatura para o setor do ponto P-14 e a menor temperatura foi verificada no ponto P-19 (Figura 3b). Novamente, a menor temperatura da água foi verificada numa área de captação de água. Cabe destacar que os valores do ponto P-14 para a temperatura a 1 m de profundidade, apesar de também ter sido verificada uma variação da condutividade elétrica, possivelmente estejam associados a erros de leitura na hora da coleta ou mesmo uma falha do equipamento. Num outro contexto, verifica-se que a profundidade do reservatório nessa região (P-14) é inferior aos outros pontos, o que pode ter contribuído para um maior aquecimento.

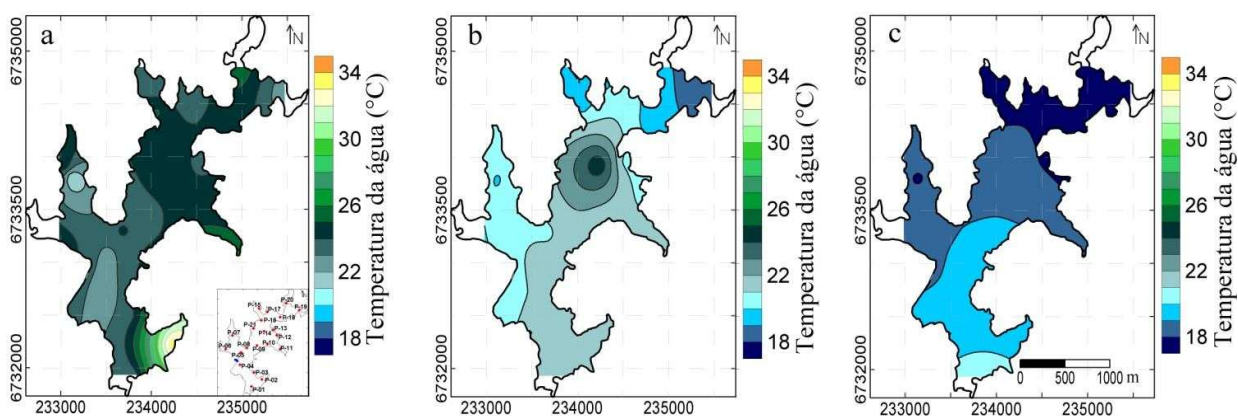


Figura 3. Variação da temperatura da água com a profundidade. a) Sub-superfície; b) um metro de profundidade; c) três metros de profundidade.

Observando a Figura 3c, referente à temperatura da água a três metros de profundidade, verifica-se o deslocamento do ponto de maior temperatura para os setores dos pontos amostrais P-01 e P-02. Esses dois pontos se caracterizam por apresentar uma maior profundidade do reservatório. As menores temperaturas permanecem no ponto P-19, bem como nos demais pontos de captação de água do meio

terrestre. Ressalta-se que a amplitude térmica da água diminuiu com o aumento da profundidade, fato esperado (Wetzel, 1983; Esteves, 1998). As variações setoriais da temperatura da água com a profundidade, conforme apresentado na Figura 3, podem estar associadas à dinâmica interna do reservatório, destacando o efeito da turbulência, induzido pelo vento superficial e pela diferença de densidade da água (Wetzel, 1983; Esteves, 1998).

As variações de temperatura da água induzem mudanças na condutividade elétrica da água. Contudo, outros fatores também devem ser considerados na análise da condutividade elétrica da água, como a quantidade de matéria orgânica dissolvida. A condutividade elétrica da água foi aferida em três profundidades mostrou que em sub-superfície se destacam dois pontos de mínima condutividade, referentes aos pontos P-14 e P-20, sendo que maior condutividade se distribui pelos demais setores do reservatório (Figura 4a).

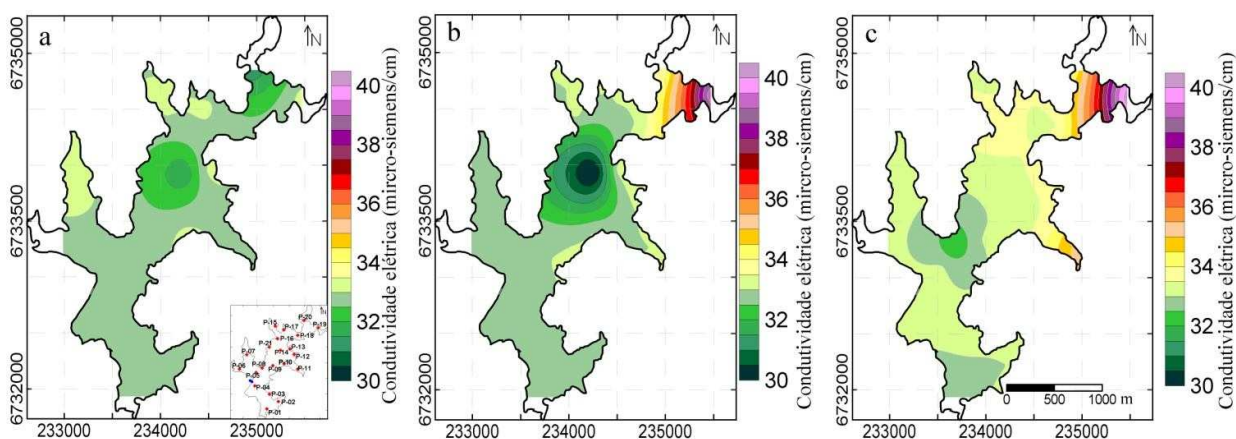


Figura 4. Variação da condutividade elétrica com a profundidade. a) Sub-superfície; b) um metro de profundidade; c) três metros de profundidade.

A um metro de profundidade ocorre uma mudança nas características da condutividade elétrica, considerando que a maior condutividade passa a ser verificada no ponto amostral P-19. Destaca-se que ocorre uma homogeneização da condutividade elétrica nos demais pontos, destacando o ponto P-13, que apresenta a menor condutividade elétrica, conforme pode ser visto na Figura 4b. A Figura 4c, referente ao mapa de condutividade elétrica a 3 metros de profundidade, mostra uma grande semelhança com o comportamento da condutividade elétrica a um 1 de profundidade, entretanto destaca-se o deslocamento do ponto de mínima condutividade, que a 3 metros de profundidade ocorre no ponto P-08.

Considerando os dados de condutividade elétrica, verifica-se uma tendência de aumento da condutividade nos pontos P-19 e P-20. Este fato pode estar associado à maior presença de matéria orgânica nestes setores, a presença de troncos submersos e ainda de plantas aquáticas emersas e uma maior entrada de material trazido do ambiente terrestre.

A relação entre temperatura e condutividade elétrica apresentou um coeficiente de correlação de Pearson de $r = -0,736$ ($\alpha = 0,01$) para a profundidade de um metro. À medida que a temperatura aumenta verificou-se uma tendência de diminuição da condutividade elétrica, fato associado à expansão molecular da água, ou seja, aumenta a resistência dielétrica da água.

Uma análise conjunta de toda área em estudo mostra que o pH da água pode ser considerado neutro (Hutchinson, 1957; Esteves, 1998), visto que varia de 6,75 a 7,55. Estas características podem estar associadas à litologia da bacia de captação, ao total de matéria orgânica e ao fluxo de afluentes (Esteves, 1998). Apesar da pequena amplitude, é possível identificar maiores valores de pH nos pontos amostrais P-01, P-02, P-03 e P-04, conforme apresentado na Figura 5.

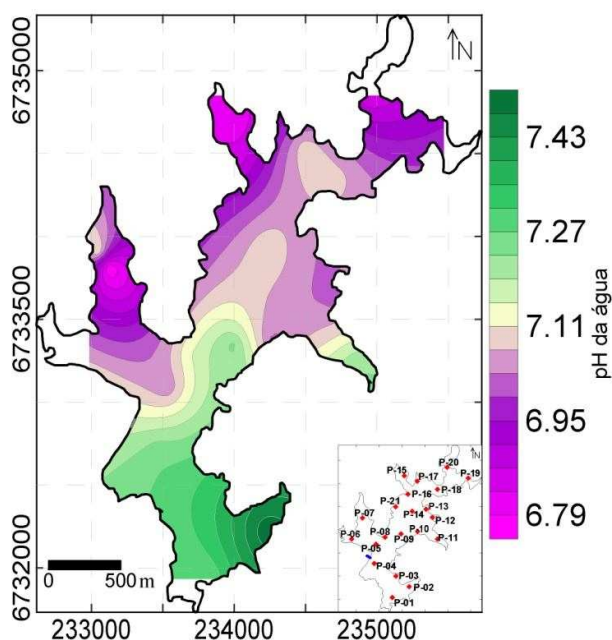


Figura 5. Variação espacial do pH da água medido em sub-superfície.

Os menores valores de pH são encontrados nos pontos amostrais P-07, P-15 e P-20. Nos pontos P-07 e P-15 verificaram-se as menores quantidades de TSS (Figura 6) e maior transparência da água (Figura 7), assim, uma forte correspondência não foi identificada para o ponto P-20, onde ocorre uma maior concentração de TSS e menor transparência da água. Estas análises estão ilustradas na Figura 5, através do mapa de pH da água.

Observando-se o mapa de pH da água apresentado na Figura 5, percebe-se a existência de dois grandes compartimentos em termos de pH da água, apesar da pequena amplitude do pH. Um compartimento com pH mais alcalino e outro com tendência a maior acidez da água.

Sobre as variações de pH verificadas na Figura 5, cabe destacar que o uso da terra predominante na margem direita do reservatório é de pastagens e que no lado esquerdo do reservatório há uma predominância de áreas agrícolas, com destaque para o plantio de trigo e soja. A forte presença da

pecuária no meio-oeste da bacia hidrográfica pode estar influenciando o pH da água, visto que considerando a condutividade elétrica da água (Figura 4) este fenômeno também é observado.

As medidas do TSS nos 21 pontos amostrais evidenciaram uma concentração diferenciada ao longo do reservatório, conforme Figura 6. Três setores apresentam concentrações de TSS superiores a 10 mg/L. Um primeiro setor está localizado a noroeste do reservatório. No setor à esquerda do corpo central, no ponto amostral P-11, encontrou-se as maiores concentrações de TSS da área em estudo. Um terceiro setor se localiza no dique próximo do vertedor do reservatório (P-04). A maior concentração de TSS nos dois primeiros setores descritos é dada pelo fato de serem áreas de captação de água, cujo uso do solo no entorno é predominantemente agrícola, e a época da coleta dos dados ser de preparo do solo. No setor do vertedor a maior concentração de TSS está associada à re-suspensão do material devido à presença de uma antiga barragem inundada.

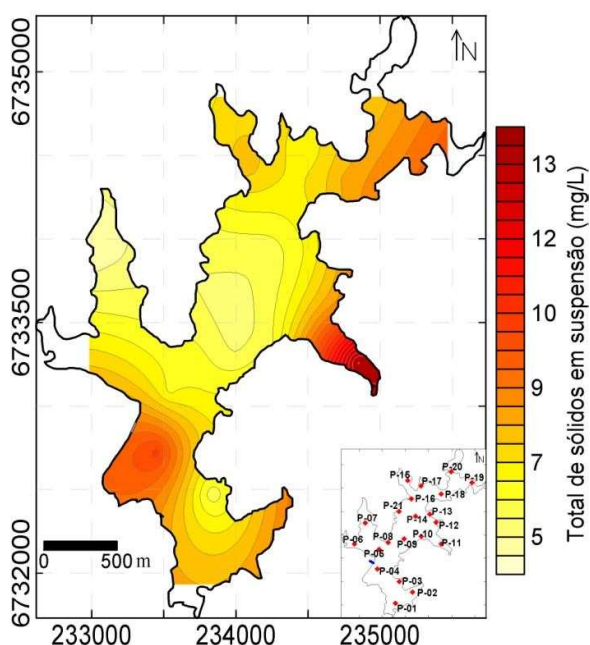


Figura 6. Variação espacial da concentração do total de sólidos em suspensão.

Apesar de não terem sido feitas medidas discriminando os Sólidos Orgânicos em Suspensão (SOS) e dos Sólidos Inorgânicos em Suspensão (SIS), acredita-se que a quantidade de SIS ao TSS encontrada nos dois primeiros setores, considerando o material cariado das lavouras para o reservatório. No setor que engloba o dique, ou seja, a área próxima ao vertedor, representada pelo ponto amostral P-04 o TSS parece estar associado a maior concentração de SOS, especialmente clorofila. Esta maior concentração de clorofila associa-se a precipitação dos SIS antes de chegar ao dique, possibilitando maior penetração de luminosidade na água e o surgimento de uma maior concentração de clorofila.

Os setores de menor concentração de TSS estão localizados no centro do reservatório e no setor à direita, junto ao ponto amostral P-07. A localização de uma área de baixa concentração de TSS no

centro do reservatório remete novamente para o fato da precipitação do TSS, justificando novamente a maior concentração de clorofila no setor do dique.

A transparência da água nos pontos amostrais teve uma amplitude óptica de 30 cm, variando de 100 a 130 cm. A menor profundidade do disco de Secchi foi verificada o norte e nordeste do reservatório. Verifica-se uma tendência de aumento da transparência em direção ao centro do reservatório, chegando a 130 cm no ponto amostral P-08, conforme mostrado na Figura 7.

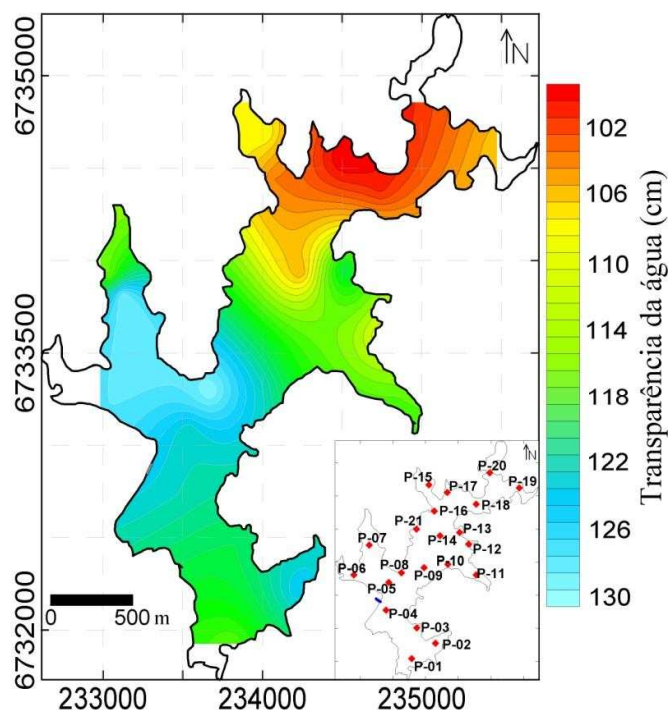


Figura 7. Variação espacial da transparência da água.

As diferentes características de transparência da água, a exemplo o TSS (Figura 6), podem estar associadas a diferentes tipos de uso da terra nas áreas de captação dos braços do reservatório. O aumento da transparência na parte central, nos braços a sudoeste e no dique parece estar relacionado à deposição dos sólidos nas áreas à jusante, em função da diminuição da velocidade de escoamento da água. Em suma, verifica-se um aumento da transparência da água em direção a jusante do reservatório.

Considerando as relações entre a profundidade do disco de Secchi e o TSS, verificou-se uma tendência de aumento da transparência da água (Figura 7) conforme ocorre à diminuição da TSS (Figura 6), com exceção do setor do dique próximo ao vertedor, onde se registrou uma maior transparência e maior concentração de TSS, possivelmente associada à clorofila.

5. Conclusões

A análise das variáveis limnológicas mostrou uma concentração do TSS no setor montante e dique do reservatório. A concentração de TSS a montante está associada as áreas de captação de água e a

maior concentração de TSS no setor do dique parece estar associada a presença de clorofila. As medidas de transparência da água mostraram que ocorre um gradativo aumento da profundidade de Secchi de montante para jusante. Este fato possivelmente está associado à precipitação de sedimentos devido à redução da velocidade da água. A relação inversa entre transparência e TSS comentada na literatura foi evidenciada na área de estudo.

No que se refere à temperatura da água, apresentou variações com a profundidade, o que aumentou a condutividade elétrica. Considerando o pH da água verificou-se a existência de dois setores, que de acordo com a inspeção de campo parecem estar associados aos distintos usos do solo dos ambientes terrestres.

Uma análise detalhada dos dados limnológicos mostra que o reservatório apresenta dois grandes setores, tendo como limite a antiga barragem (localizada transversalmente no setor próximo ao ponto P-08). Desta forma destaca-se um setor a jusante desta antiga barragem, apresentando maior homogeneidade e, outro grande setor, que compreende toda área a montante da barragem antiga, que apresenta as maiores variações considerando as diferentes variáveis limnológicas.

6. Agradecimentos

Os autores agradem à Petrobras Ambiental, representada pelo Centro Internacional de Projetos Ambientais – CIPAM, processo 1230, pelo apoio logístico oferecido para a realização do trabalho; a Companhia Riograndense de Saneamento – CORSAN por permitir a realização deste estudo em uma área/reservatório de sua concessão e pelo apoio nas atividades de campo.

7. Referências

- CIAE - National Research Council. **Freshwater Ecosystems: Revitalizing Educational Programs in Limnology**. Washington: National Academic Press, 1996.
- CRAE - Science, Technology, and Public Policy - National Research Council. **Restoration of Aquatic Ecosystems: Science, Technology, and Public Policy**. Washington: National Academic Press, 1992.
- CRGCES - Water Science and Technology Board - National Research Council. **Colorado River Ecology and Dam Management: Proceedings of a Symposium May 24-25, 1990 Santa Fe, New México**. Washington: National Academy Press, 1991.
- CUSGS-WRR - National Research Council. **Estimating Water Use in the United States: A New Paradigm for the National Water-Use Information Program**. Washington: National Academic Press, 2002.

- Dekker, Arnold Graham. ***Detection of optical water quality parameters for eutrophic waters by high resolution remote sensing***. Doctor Thesis (Hyperspectral remote sensing of water quality). Vrije Universiteit, 1993.
- Esteves, Francisco de Assis. ***Fundamentos de Limnologia***. 2^a ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.
- OES-INPE – Observatório Espacial do Sul – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Plataforma de coleta de dados, 2006
- Fill, Heinz Dieter e Santos, Irani dos. ***Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão através da profundidade Secchi***. Disponível em: <http://www.lactec.org.br/publicacoes/2001/012_2001.pdf>. Acesso em 27 Set. 2005.
- Hahn, Martin W.; Lünsdorf, Heinrich; Qinglong Wu; Schauer, Michael; Höfle, Manfred G.; Boenigk, Jens; Stadler, Peter. Isolation of novel ultramicrobacteria classified as action bacteria from five freshwater habitats in Europe and Asia. ***Applied and Environmental Microbiology***, Vol. 69, No. 3 Mar. 2003, p. 1442–1451.
- Halls, Steve e Yamazaki, Kei. Lagos e Reservatório: ***Qualidade da Água: O Impacto da Eutrofização***. Vol. 3. Disponível em: <<http://www.>>. Acesso em 20 Set. 2005.
- Hutchinson, G. Evelyn. ***A treatise on Limnology***. V1. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1957.
- Jobin, William. ***Sustainable Management for Dams and Waters***. Boston: Lewis Publishers, 1998.
- Kerner, Louis E. ***Physical Oceanography Animations*** - Coastal Carolina University. Disponível em: <<http://kingfish.coastal.edu/marine/Animations/>>. Acesso em 09 Setembro de 2005.
- Norling, Parry; Wood-Black, Frankie; Masciangioli, Tina M. ***Water and Sustainable Development: Opportunities for the Chemical Sciences - A Workshop Report to the Chemical Sciences Roundtable***. Washington: National Academic Press, 2004.
- Pinto, Nelson L. de Souza; Holtz, Antonio Carlos Tatit; Martins, José Augusto; Gomide, Francisco Luiz Sibut. ***Hidrologia básica***. São Paulo: Edgard Blücher, 1976.
- Silva, Servio. ***Reflexões sobre a água***. Disponível em: <<http://www.higiservice.com.br/>>. Acesso em 16 Maio de 2005.
- Thermo Research. ***Orion Conductivity***. ©2008 Thermo Fisher Scientific Inc. All rights reserved. Disponível em: <<http://www.thermo.com/com/cda/home/1,,00.html>>. Acesso em 27 de junho de 2008.
- Wetzel, R.G. 1983. ***Limnology***. 2^a Ed. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1983.