

INFLUÊNCIA DO USO DA TERRA E PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA FORMAÇÃO DE COMPARTIMENTOS AQUÁTICOS NO RESERVATÓRIO RODOLFO COSTA E SILVA – RS, BRASIL

Flávio WACHHOLZ¹

Waterloo PEREIRA FILHO²

Sérgio Celestino de Bona SARTOR³

Resumo

As atividades agropastoris desenvolvidas em uma bacia hidrográfica podem induzir mudanças na limnologia de um reservatório. Nesse sentido, avaliou-se a influência dos usos da terra presentes na área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva na formação de compartimentos aquáticos. A metodologia baseou-se na coleta de dados de transparência da água, Totais de Sólidos em Suspensão (TSS), condutividade elétrica (CE) e pH em 21 pontos amostrais, distribuídos eqüidistantemente no reservatório e obtidos mensalmente no intervalo de um ano (Out. 2005 a Set. 2006). Imagens do satélite CBERS 2 CCD foram utilizadas para elaboração dos mapas de uso da terra em quatro períodos: preparo do solo para cultivos de verão (Set. a Nov.), ciclo da soja (Dez. a Mar.), entressafra (Abr. a Maio) e ciclo do trigo (Jun. a Ago.). A transparência da água é menor durante os meses de preparo do solo, em razão do aumento do TSS. O pH apresentou-se alcalino e CE foi menor para este mesmo período. O aumento da transparência só é recuperado por ocasião do aumento do dossel das culturas anuais, quando acontece maior proteção do solo em relação à erosão pluvial, o que ocorre entre os meses de Dez. e Jan. e mantida no período posterior com a diminuição do volume de chuvas. Além disso, a precipitação e o uso da terra induzem, espacialmente, a formação de dois compartimentos aquáticos: o setor montante, com participação direta dos tributários e o setor jusante, resultante do deslocamento da água no reservatório.

Palavras-chave: Total de Sólidos em Suspensão. Transparência. Condutividade elétrica. pH.

¹ Aluno de Doutorado, Prédio do Programa de Pós-Graduação em Geografia – Campus Rio Claro/Universidade Estadual Paulista, Avenida 24 A, 1515, Bairro Bela Vista, Rio Claro – SP, Brasil, 13506-900. E-mail: fwalemao@gmail.com

² Professor Associado, Programa de Pós-Graduação em Geografia/Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Geociências, Campus da UFSM, 1000, Bairro Camobi, Santa Maria – RS, Brasil, 97105-970. E-mail: waterloopf@gmail.com

³ Professor, Colégio Militar de Santa Maria, Rua Radialista Oswaldo Nobre, 1132, Bairro Juscelino Kubitschek, Santa Maria – RS, Brasil, 97035-000. E-mail: sbsartor@terra.com.br

Abstract

The influences of land use and pluviometric precipitation in aquatic compartment formation in Rodolfo Costa e Silva's Reservoir – RS, Brazil

The agro-shepherd activities developed in a hydrographic bay can induce changes in the limnology of a reservoir. Taking it into account, one evaluated the influences of land use present in the aquatic compartments of Rodolfo Costa e Silva Reservoir's water storage area. The methodology was based on water transparency data collection which was measured by Secchi disk, Total Solids in Suspension (TSS), electric conductivity (EC) and pH in 21 sample points, which were distributed along the reservoir space and obtained monthly in a year interval (Oct. 2005 to Sept. 2006). Satellite CBERS 2 CCD images were used in order to elaborate land use maps in four periods: soil preparation for summer cultures (Sept. to Nov.), soy cycle (Dec. to Mar.), the period in between crops (Apr. to May) and wheat cycle (Jun. to Aug.). Water transparency is lower during the soil preparation months because of the increase of TSS. The pH was alkaline and EC was lower for this same period. The transparency increase is only recovered due to the sunshade increase of the annual cultures which provide greater soil protection concerning the erosive effects. It occurs during December and January and it is maintained in the following period because of the rain volume decrease. Besides, precipitation and land use induce, spatially, the formation of two aquatic compartments: upstream section, which has direct participation of tributaries, and downstream section, which results from water displacement in the reservoir.

Key words: Total Solids in Suspension. Transparency. Electric conductivity. pH.

INTRODUÇÃO

O Brasil é um país privilegiado quanto à disponibilidade de recursos hídricos, pois possui 12% do total mundial de água doce. Mesmo assim, enfrenta problemas pela heterogeneidade de distribuição desses recursos, ou seja, apresenta regiões com água em abundância, como a região Norte; e outras com sérios problemas devido à falta de água, como a região Nordeste, que, além de menor disponibilidade de recursos hídricos, tem um índice populacional bem maior que a Amazônia (HESPANHOL, 1999).

Segundo MAGNOLI (2001), o Estado do Rio Grande do Sul apresenta uma razoável rede hidrográfica, constituída pelas Bacias Hidrográficas do Uruguai e Atlântica/Sudeste. No início de sua ocupação e formação, os povos utilizavam as águas dos principais rios para o consumo doméstico e para a navegação. Com o passar do tempo, formaram-se vilas e cidades e, havendo elevada expansão destas e do crescimento populacional, aumentou a demanda de água doce para o consumo doméstico, irrigação agrícola, atividade industrial e produção de hidroeletricidade. Surge assim, a necessidade de maior produção de energia oriunda de reservatórios de água no Estado e aumento do número de reservatórios para o consumo populacional.

Para atender a essa demanda, o governo do Estado do Rio Grande do Sul criou a Companhia Rio-grandense de Saneamento (CORSAN), com a finalidade específica de administrar a construção de reservatórios para captação, tratamento de água, distribuição e gerenciar sua manutenção para suprir a crescente demanda. Como exemplo, pode ser citado o Reservatório Rodolfo Costa e Silva – RS, localizado no centro do Estado, que abastece em mais de 60% a cidade de Santa Maria, com mais de 257 mil habitantes (FEE, 2008).

Contudo, a construção de reservatórios de água modifica as condições naturais de uma determinada seção do rio, como o ritmo e a vazão, formando ambientes lênticos e alterando o comportamento das variáveis limnológicas (KIMMEL et al., 1990; BRANCO E ROCHA, 1997; ESTEVES, 1998; TUNDISI et al., 1999; HENRY, 2003). As alterações na circu-

lação horizontal e vertical, com entradas de energia e matéria em um reservatório, podem definir compartimentos aquáticos às variáveis limnológicas (HENRY, 1999; ANGELINI, 2002; TUNDISI, 2006). Na bacia hidrográfica, a formação de reservatórios apresenta influência no clima, na geomorfologia e na ecologia, modificando a fauna e a flora presentes nos ambientes terrestre e aquático (TUNDISI; TUNDISI, 2008).

O reservatório Rodolfo Costa e Silva possui oito áreas de captação onde a atividade predominante é a agropecuária. Essas atividades expõem com maior frequência o solo à ação dos processos erosivos decorrentes do escoamento superficial, de forma a elevar o aporte de partículas e de nutrientes para o ambiente aquático. Neste caso, na bacia hidrográfica, a matéria é representada pela água e pelos detritos, e a energia corresponde às forças que fazem o sistema funcionar (CHRISTOFOLETTI, 1980).

As águas das chuvas, chocando-se com o solo, determinam à compactação da sua superfície, transportam e sedimentam as partículas, nutrientes e materiais finos, reduzindo assim a dimensão dos espaços inter-granulares e, dessa forma, atenuando a capacidade de infiltração (FARIA, 1996). Caso o solo esteja coberto por florestas e demais formas de vegetação, o escoamento superficial da água é dificultado, favorecendo a sua infiltração. No entanto, o material carreado ao reservatório, principalmente pela ação do escoamento superficial, pode modificar o padrão de variáveis limnológicas, como a transparência, total de sólidos em suspensão, condutividade elétrica e pH. A importância que as variáveis limnológicas estudadas apresentam sobre o sistema aquático é destacada no quadro 1.

Variável	Unidade	Relações com o ambiente aquático
Transparência	cm	A transparência é inversamente proporcional à quantidade de compostos orgânicos e inorgânicos no percurso da luz e ao coeficiente de atenuação da irradiância (KIRK, 1994; ESTEVES, 1998).
Total de Sólidos em suspensão	mg/L	Quanto maior a concentração de sólidos em suspensão, maior é a atenuação da luz, ou seja, menor será a zona eufótica na coluna de água. Neste caso, ocorre uma queda acentuada de energia disponível para realização do metabolismo no ecossistema aquático (CURRAN; NOVO, 1988; PEREIRA FILHO, 2000).
Condutividade elétrica	µS/cm	É uma variável limnológica importante em relação ao metabolismo do ecossistema aquático. Por estar relacionada à capacidade de conduzir eletricidade pela quantidade de sais presentes na água pode ajudar na identificação de fontes poluidoras (ESTEVES, 1998).
pH	Log [H ⁺]	Indica a atividade de íons hidrogênio. Apresenta caráter químico ácido ou base, conforme os constituintes presentes na água como os carbonatos (CLESCERI et al., 1998). O pH com valores entre 6 e 9, é considerado ideal para a conservação de vida aquática (ESTEVES, 1998).

Quadro 1 – Transparência, Total de Sólidos em Suspensão, Condutividade Elétrica e pH e suas relações com o ambiente aquático

Tendo em vista que o tipo de uso da terra e as precipitações pluviométricas podem ser determinantes na ação dos processos erosivos na bacia hidrográfica e influenciam nas características do reservatório, o objetivo do estudo consistiu em identificar a participação do uso e ocupação das terras encontradas nas áreas de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva e da precipitação pluviométrica na formação de compartimentos aquáticos naquele reservatório, considerando as variáveis limnológicas totais de sólidos em suspensão (TSS), transparência, pH e condutividade elétrica.

CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

Bacia hidrográfica do Ibicuí-Mirim/Rodolfo Costa e Silva

A bacia hidrográfica do Ibicuí-Mirim, localizada no centro do Estado do Rio Grande do Sul, é um dos tributários formadores do rio Ibicuí, que deságua no rio Uruguai. A bacia hidrográfica que compreende o reservatório Rodolfo Costa e Silva – nascente do Ibicuí-Mirim – possui 4.880 hectares. A figura 1 mostra a localização da área de estudo em relação ao Brasil e ao Rio Grande do Sul e a divisão das sub-bacias (SBs) que drenam para o reservatório estudado.

O reservatório está inserido na área de influência do clima subtropical, com temperatura média anual de 22°C, sendo que as temperaturas máximas são superiores a 30°C e ocorrem no verão; as mínimas são inferiores a 5°C e ocorrem nos meses de inverno (SARTORI, 1979). As precipitações são regulares e de origem frontal, com a possibilidade de estiagens ocasionais em qualquer período do ano (SARTORI, 2000), porém os meses menos chuvosos são agosto e dezembro (107 mm), e os meses mais chuvosos são setembro e outubro (170 mm), com uma média anual de 1.748 mm para região (COSTA, 2010).

A bacia hidrográfica do Ibicuí-Mirim está situada, geologicamente, na Seqüência Superior da Formação Serra Geral, formada por rochas ácidas (vitrófiros, riólitos-riodacitos granofirídicos) (SARTORI, 2009).

As características geológicas se refletem na ocorrência do Argissolo Vermelho-Amarelo aluminoso. Esse solo possui textura argilosa, com horizonte "A" de moderado a profundo, o que sugere boa resistência aos processos erosivos superficiais (EMBRAPA, 2006). A altitude e a declividade média da bacia hidrográfica são de 467 metros e 7,7%, respectivamente. Essas condições estabelecem um relevo suave ondulado, caracterizado pelas colinas.

O relevo suave ondulado é uma condição favorável para a ocupação humana, com destaque para o desenvolvimento da agricultura. Essa atividade é representada principalmente pelos cultivos do trigo (inverno) e da soja (verão). As áreas de campo são maiores na entressafra e durante o ciclo do trigo, visto que nestes períodos (entre maio a agosto) as médias térmicas são baixas e, com isso, há necessidade de aumentar o cultivo de pastagens para pecuária. As áreas florestais, com menor área, restringem-se em partes da faixa marginal da rede de drenagem das sub-bacias de captação do Reservatório.

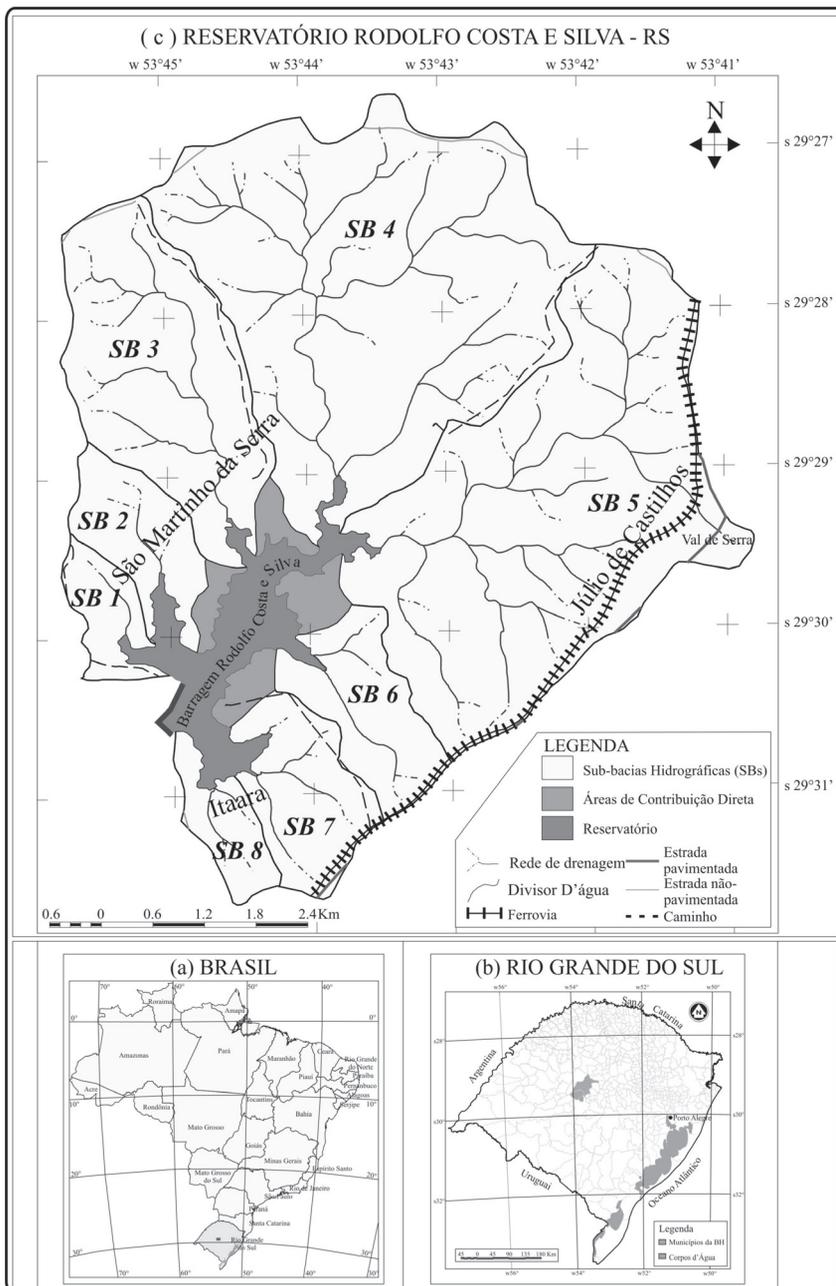


Figura 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do reservatório Rodolfo Costa e Silva e suas bacias hidrográficas (c) em relação ao Brasil (a) e Rio Grande do Sul (b)

Reservatório Rodolfo Costa e Silva

O reservatório foi construído em 1969 e alteado em 2 metros em 1971 (CRUZ, 1996), com superfície alagada de 68 hectares (Figura 2, representado pela cor cinza escuro). Para atender o aumento da demanda de água da cidade de Santa Maria, em 28 de abril de 1999 foi construído um novo dique a jusante do barramento anterior. Com a ampliação, o reservatório passou a abranger uma lâmina de água de 275 hectares. Entre outras alterações produzidas, pode-se citar o aumento da profundidade do reservatório (chegando a mais de 30m), da formação de novas reentrâncias e ilhas, na inundação do antigo dique e no afogamento de vegetação. Conseqüentemente, tais condições podem definir condições específicas para o reservatório e definir diferentes compartimentos aquáticos. No Quadro 2, são apresentadas características adicionais do reservatório.

Quadro 2 - Características do reservatório Rodolfo Costa e Silva

Dados	Descrição
Nome	Barragem Rodolfo Costa e Silva
Municípios	Itaara e São Martinho da Serra
Curso D'água barrado	Rio Ibicuí-Mirim
Área da Bacia hidrográfica	49,4 km ²
Área da Bacia Hidráulica	275 ha
Volume útil	24.900.000 m ³
Vazão Média	1,23 m ³ /s
Altura no dique em relação ao rio	34 m
Altitude máxima de água	468,62 m

Destaca-se que apesar de ter sido submerso, o antigo dique, não foi removido devido o alto custo financeiro e ambiental. Assim sendo, ali havia um ecossistema aquático desenvolvido e equilibrado, e, com a inundação sem remoção do dique, era esperado o surgimento de um novo sistema aquático com o mínimo de impacto possível⁴. A Figura 2 apresenta informações batimétricas do reservatório, a área de ocorrência do primeiro reservatório e a localização dos pontos de coleta.

⁴ Comunicação pessoal obtida junto ao Eng^o Civil Sérgio Antônio Martini /SURCEN/CORSAN. (27 de março de 2007)

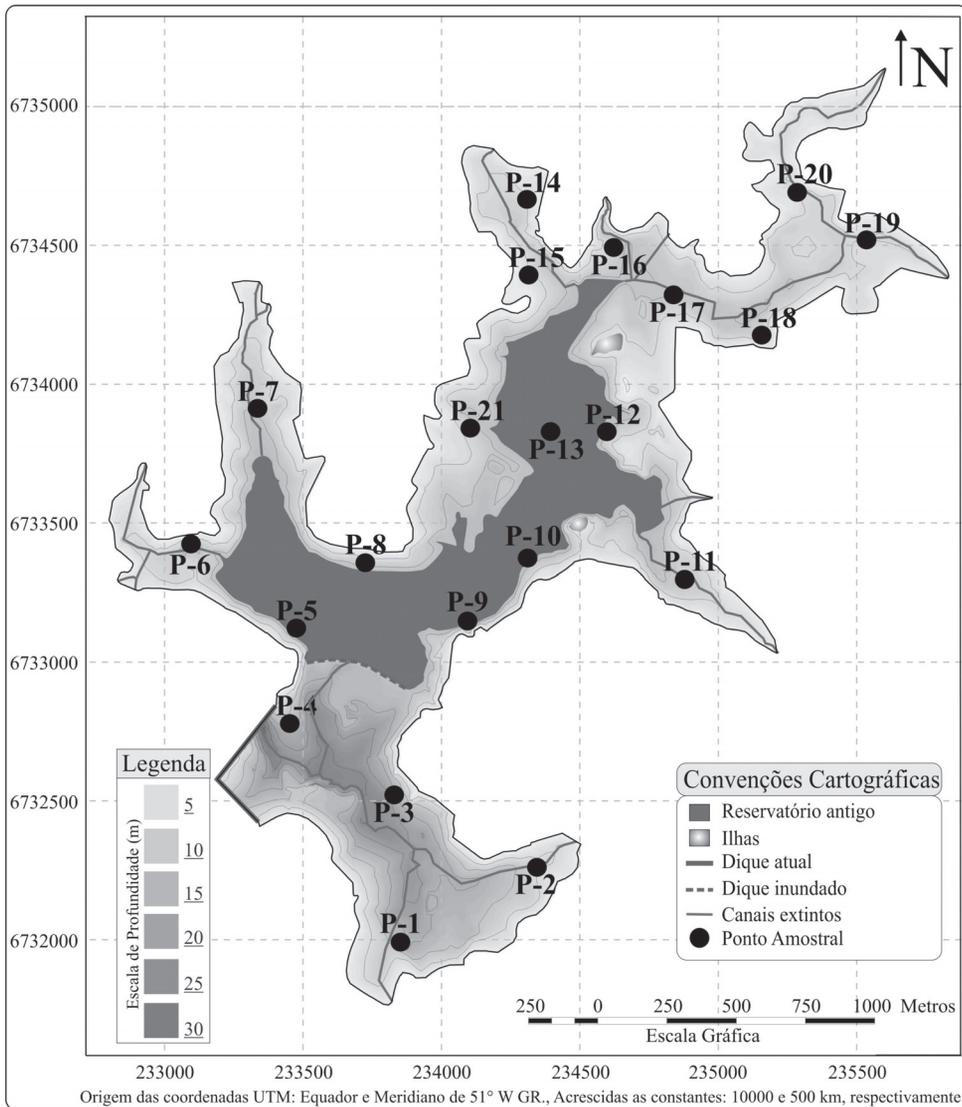


Figura 2 – Mapa batimétrico do reservatório Rodolfo Costa e Silva – RS, indicação do reservatório antigo e localização dos pontos amostrais

Fonte: Adaptado de Wachholz (2007).

A área com a maior deterioração ambiental decorrente da ampliação do reservatório está localizada a montante do antigo reservatório, que compreende os pontos amostrais entre 14 a 20, cujas profundidades são inferiores a 12 m. Encontram-se, no local, os paliteiros (restos de vegetação submersa). As condições hidrodinâmicas proporcionadas pelos paliteiros e a maior disponibilidade de matéria orgânica (originária principalmente da

área de captação) permitem o aparecimento e o desenvolvimento de macrófitas aquáticas associado a esse compartimento aquático (WACHHOLZ, 2007).

Os pontos amostrais localizados no eixo central do reservatório apresentam as maiores profundidades. Por outro lado, os pontos amostrais localizados nas reentrâncias (setor marginal) apresentam as menores profundidades e, assim, são os mais susceptíveis a serem influenciados pelo material de fundo e pela diferença de nível da água do reservatório durante o ano. ASSIREU et al. (2007) contextualizando sobre a relação entre a geometria do entorno de reservatórios e a variabilidade de parâmetros limnológicos destacam que setores periféricos de reservatórios, normalmente, encontram-se abrigados dos efeitos do vento, proporcionando um processo hidrodinâmico menor do que em outros setores do reservatório, cujo resultado é maior tempo de residência das águas e maior interação com o entorno.

As ilhas também são obstáculos aos processos hidrodinâmicos no reservatório. As duas ilhas localizadas no compartimento aquático intermediário podem interferir nas dinâmicas de circulação da água dos P-10, P-11, P-12 e P-13.

METODOLOGIA

As atividades de campo no reservatório Rodolfo Costa e Silva foram realizadas, com o uso de um barco. Em cada atividade, foram amostrados 21 pontos. Estes foram distribuídos geograficamente no reservatório de forma a contemplar todas as classes obtidas inicialmente com a classificação não-supervisionada (Classificador Iseseg) da imagem do sensor CBERS 2 CCD, bandas 1, 2, 3 do dia 21 de outubro de 2004 (BREUNIG, 2006). A figura 2 apresenta a distribuição espacial dos pontos amostrais.

Em cada ponto amostral foram coletados dados de Totais de Sólidos em Suspensão (TSS), transparência (medida com o Disco de Secchi - DS), Condutividade Elétrica da água (CE) e pH. O período de coleta de dados foi de outubro de 2005 a setembro de 2006 (Quadro 3), concomitante a passagem do satélite CBERS 2 CCD (26 dias), conforme apresentado no Quadro 3. Os procedimentos de coleta envolvendo cada variável analisada são descritos abaixo:

- a) TSS (mg/L): essa variável foi obtida com a coleta de água nos pontos amostrais utilizando frascos plásticos de 600ml de água para posterior medida em laboratório. O filtro de celulose com 0,45 μm de porosidade e 47 mm de diâmetro foi utilizado no processo de filtragem. A diferença entre os pesos inicial e final (antes e posterior a filtragem) perante a razão do volume filtrado permitiu identificar o valor de TSS.
- b) DS (cm): obteve-se essa variável, mergulhando na água o disco de Secchi de 25 centímetros de diâmetro e cor branca, acoplado a uma corda graduada. Anotou-se o valor em que ocorreu o desaparecimento do disco na água.
- d) Condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$): a variável foi identificada com o aparelho ORION, em medida de subsuperfície (aproximadamente 10 cm de profundidade), previamente calibrado com solução padrão de 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- e) Potencial Hidrogeniônico (Log H^+): mediu-se essa variável em medida de subsuperfície, através do aparelho PH MASTER que, primeiramente, foi estabilizado com solução padrão de pH4 e pH7.

Quadro 3 – Datas das coletas de campo e das imagens de satélite utilizadas

Coletas de campo		Período	Variáveis limnológicas	Imagem de satélite CBERS 2 CCD	Classes de Usos da terra	
1	20/10/2005	Solo exposto	DS: Transparência do Disco de Secchi TSS: Total de Sólidos em Suspensão CE: Condutividade elétrica pH: Potencial Hidrogeniônico	20/10/2005	Floresta	
2	18/11/2005				Campo	
3	14/12/2005			Ciclo de cultivo da soja	01/02/2006	Agricultura
4	06/01/2006	Solo exposto				
5	01/02/2006	Entressafra			19/04/2006	Vegetação não fotossinteticamente ativa (NPV)
6	27/02/2006					Ciclo de cultivo do trigo
7	25/03/2006					
8	20/04/2006					
9	16/05/2006					
10	14/06/2006					
11	07/07/2006					
12	25/08/2006					
13	26/09/2006					

As imagens dos Satélites CBERS-2 CCD foram utilizadas na elaboração dos mapas de uso da terra, a partir da combinação das bandas 243 RGB para a melhor identificação dos alvos. As classificações supervisionadas apresentaram baixa acurácia, optou-se então pela classificação visual, que consiste na interpretação e identificação dos alvos, com a edição vetorial, associando as áreas definidas pelos polígonos à cada classe de uso da terra. Foram, portanto, definidas seis classes de uso da terra, conforme descrito a seguir: floresta, campo (campos naturais e pastagens), agricultura, solo exposto, vegetação não fotossinteticamente ativa (NPV) e água.

Nas sub-bacias do Reservatório Rodolfo Costa e Silva, as áreas agrícolas são estruturadas em quatro períodos: solo exposto (preparo do solo para plantio) no período entre setembro a novembro; ciclo de cultivo da soja no período entre dezembro a abril, dividindo-se em três fases (plantio, crescimento vegetativo e colheita); entressafra, ocorrendo nos meses de abril e maio; e ciclo de cultivo do trigo no período entre junho a agosto, dividindo-se em três fases (plantio, crescimento vegetativo e colheita). Cada período foi representado por um mapa de uso da terra. Embora tenham sido utilizados as expressões "soja" e "trigo" para designar as culturas de verão e de inverno, destaca-se que outras culturas são exploradas nestes dois períodos, mas as dominantes são a soja, no verão, e trigo, no inverno.

Tendo em vista a dispersão e a relação das variáveis limnológicas, foi calculada a estatística descritiva para cada data. Os dados quantificados do uso da terra foram relacionados com as variáveis limnológicas, considerando os períodos da imagem de satélite. Da mesma forma, os dados de precipitação da estação São Martinho da Serra fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/INPE foram correlacionados com as variáveis limnológicas e o nível de significância considerado foi de 90%. Os mapas das variáveis limnológicas obtidos para as variáveis TSS, DS (WACHHOLZ, 2007), CE e pH (SARTOR, 2008) foram consultados para a confirmação dos compartimentos aquáticos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica

Analisando-se a figura 3, a distribuição espacial das classes de uso da terra, por ciclo agrícola, durante o ano hidrológico do Reservatório Rodolfo Costa e Silva, e, no Quadro 4, a quantificação dos dados, percebe-se que a principal ocupação ocorre com o desenvolvimento das atividades agrícolas (agricultura e solo exposto).

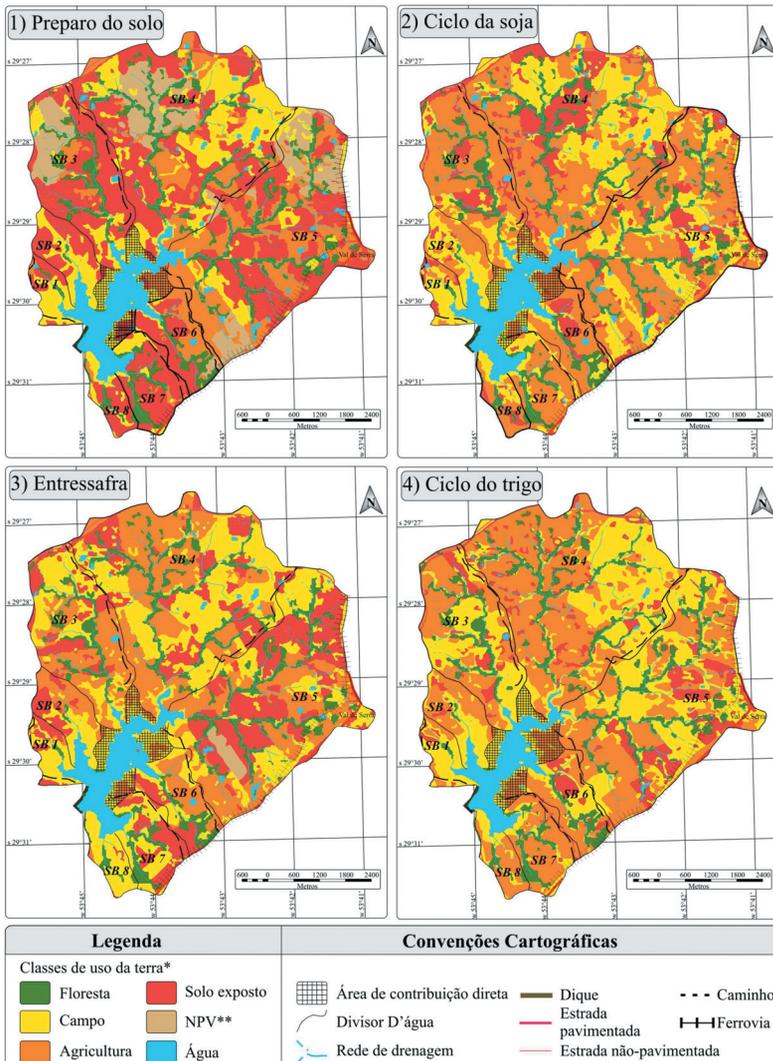


Figura 3 – Mapas de uso da terra da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva, segundo os quatro períodos agrícolas

Quadro 4 – Classes de uso da terra e ciclos agrícolas da área de captação do Reservatório Rodolfo Costa e Silva – RS (em negrito é destacada a classe de uso da terra com maior porcentagem de ocorrência em cada estágio agrícola)

Classes de uso da terra	Estágios agrícolas							
	Preparo do solo		Ciclo da soja		Entressafra		Ciclo do trigo	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Floresta	460,6	9,4	460,6	9,4	460,6	9,4	460,6	9,4
Campo	884,4	18,1	1302,8	26,7	1622,8	33,3	1579,6	32,4
Agricultura	835,7	17,1	2128,5	43,6	1358,8	27,8	2087,5	42,8
Solo exposto	1888,9	38,7	667,2	13,7	1111,0	22,8	524,4	10,8
NPV	481,6	9,9	0,0	0,0	39,6	0,8	0,0	0,0
Água	328,9	6,7	320,9	6,6	287,3	5,9	227,8	4,7

A classe floresta apresenta somente 460,6 hectares de área, correspondente a 9,4% do total da área de captação do Reservatório. As áreas florestais originais estão localizadas na sua maioria nas marginais da rede de drenagem, representadas pela mata ciliar, com 194,2 ha ("buffer" de 30 metros com 514 ha ao longo da rede de drenagem e área de preservação permanente). As demais áreas florestais são representadas, principalmente, por espécies exóticas (e.g., *Eucalyptus sp.*).

As áreas de campo localizam-se dispersas por toda área de captação, porém destacam-se à margem esquerda do reservatório. Na sub-bacia (SB) 4, o campo apresenta maior área em porção mais distante do reservatório. Durante o verão, as áreas de campo são constituídas de campos naturais, que nas outras estações do ano são ampliadas com as pastagens e/ou adubação verde. As pastagens são utilizadas principalmente no inverno, quando os campos naturais de forma isolada, não atendem a demanda da pecuária extensiva, passando de 18% (período de preparo do solo) a 33% (período de entressafra e ciclo do trigo). As pastagens em conjunto com a adubação verde, são formas de proteger os solos contra os processos erosivos e, com sua decomposição, disponibilizar matéria orgânica ao solo.

As áreas agrícolas representam aproximadamente 57% da área da bacia hidrográfica e podem se apresentar, dependendo do período do ano, com solo exposto ou culturas anuais (soja e trigo), seguido pela condição da NPV. No mês de outubro o solo exposto ocupou aproximadamente 39% na bacia hidrográfica, expondo o solo aos processos erosivos, principalmente pela ação da chuva. Com o cultivo das áreas agrícolas aumenta a área foliar (desenvolvimento fenológico das culturas), reduzindo as perdas de solo por processos erosivos. A classe de NPV é encontrada quase que exclusivamente nos períodos de entressafra, pois correspondem às áreas nas quais ocorreu a colheita das culturas agrícolas. No período de solo exposto, quase 10% da bacia hidrográfica ficou ocupada por essa classe. Se as áreas de NPV e pastagens forem conservadas e o sistema de plantio direto for adotado, a proteção do solo contra os processos erosivos será muito maior.

Em relação à classe água, o reservatório Costa e Silva é corpo hídrico dominante e, senão pequenos açudes, com uso pecuário. As áreas alagadas respondem diretamente o

volume de precipitações ocorridas na bacia hidrográfica e, no caso do reservatório, o seu nível depende do regime de abastecimento e demanda por água.

Variáveis limnológicas

As maiores transparências da água ocorreram em Fev. 01, Jun. 14 e Jul. 07, meses em que também são encontrados maiores desvios padrão (DP) e coeficientes de variação (CV) (Figuras 4 e 5). Constatou-se que os períodos de menores transparências (Ago. 25 a Nov. 18) conduzem a uma maior homogeneidade das águas no reservatório em relação a essa variável. Dessa forma, Fev. 01 e Jul. 07 (maiores DP e CV) foram os meses com a melhor definição de compartimentos aquáticos (Setor montante e setor jusante).

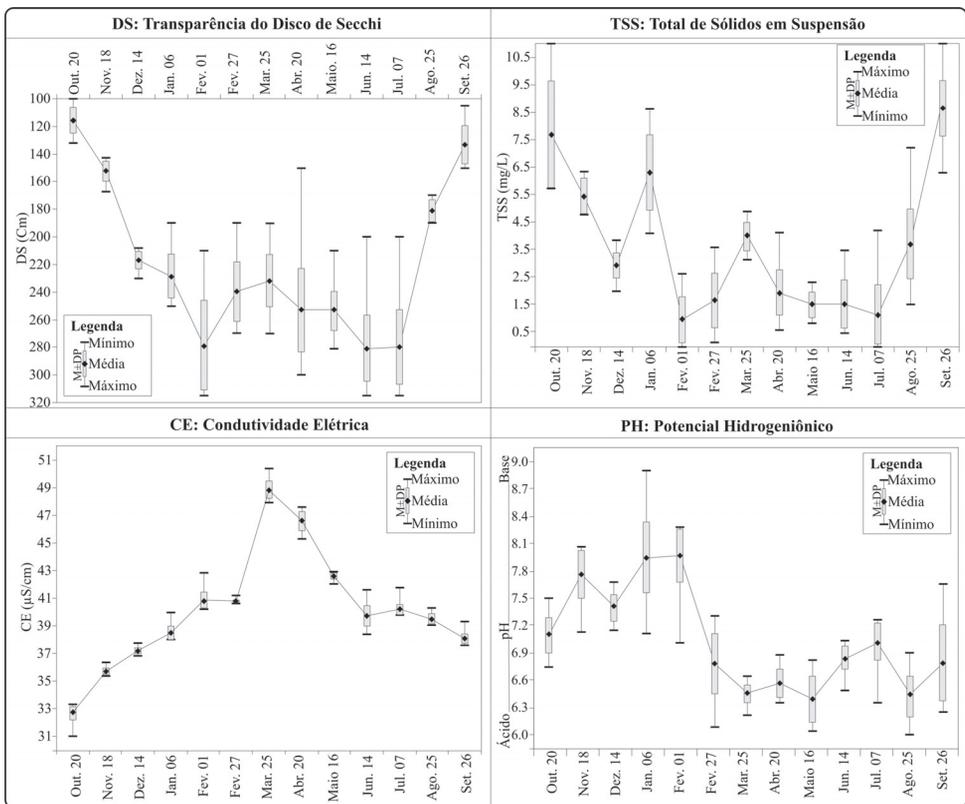


Figura 4 – Média, desvio padrão, mínimo e máximo das variáveis DS, TSS, pH e CE do reservatório Rodolfo Costa e Silva

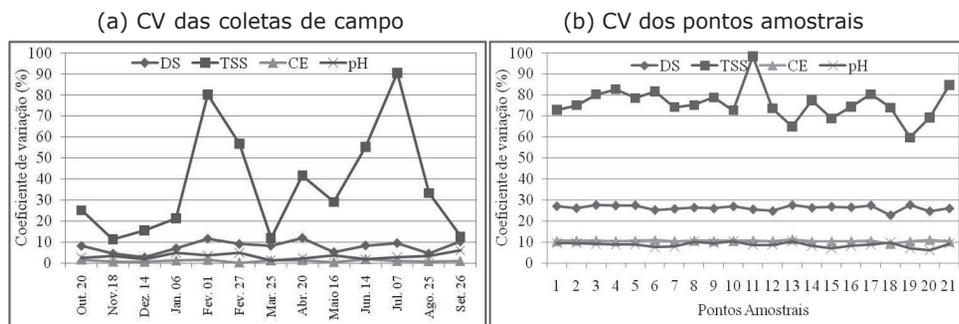


Figura 5 – Coeficiente de Variação (CV) das variáveis DS, TSS, pH e CE em função das coletas de campo (a) e dos pontos amostrais (b)

O TSS apresentou resultados numa relação inversa com a transparência. Os maiores DP são encontrados em períodos de altas concentrações, mas o aumento das médias (M) proporcionou menores CV. Portanto, a definição de compartimentos aquáticos para essa variável foi melhor em Jan. 06 e Set. 26, período em que apresentou os maiores DP.

A CE apresentou pouca variação durante o ano analisado e especialmente no reservatório, com sensível aumento para o período de Fev. 01 a Maio 16 ($> 40,1\mu\text{S}/\text{cm}$), com baixos DP e CV. Mar. 25, Abr. 20 e Jun. 14 permitiram também uma boa definição de compartimentos aquáticos.

As distintas condições encontradas para pH permitiram dividir em dois períodos: Out. 20 a Fev. 01, com o valor de pH entre 7,0 a 8,3 (alcalino); Fev. 27 a Set. 26, com valor de pH entre 6,0 a 7,0 (ácido). A melhor definição de compartimentos aquáticos ocorre para Set. 26. Desse modo, constatou-se que, em todos os pontos amostrais de todas as coletas de campo, os valores médios de pH (6,0 a 8,3) apresentados na água do Reservatório estão conforme resoluções estabelecidas pelo CONAMA (1985/2002), que estabelecem valores entre 6,0 a 9,5 para água de consumo humano e animal.

Influência do uso da terra na limnologia do reservatório

As áreas agrícolas são dinâmicas, com presença da agricultura sobre solo exposto, e vice-versa, dependendo do período do ano, apresentando correlação significativa ($r=-0,97$, $\alpha=0,01$). O DS e solo exposto apresentaram correlação significativa ($r=-0,50$, $\alpha\geq 0,10$), apenas para os pontos amostrais 1 a 13 (Figura 7). A redução da transparência acontece quando ocorre um maior volume de chuvas e quando o solo encontra-se exposto. Essa situação é proporcionada em função das maiores vazões dos principais tributários (SB3, SB4 e SB5), cuja água atinge porções mais jusantes do reservatório. A correlação não significativa encontrada nos pontos de entrada dos principais tributários pode estar mascarada pela facilidade de ressuspensão do material sob ação do vento associado às menores profundidades do reservatório. A CE e solo exposto apresentaram uma correlação significativa ($r=-0,41$, $\alpha\geq 0,15$) para todos os pontos amostrais, ou seja, em todo o reservatório.

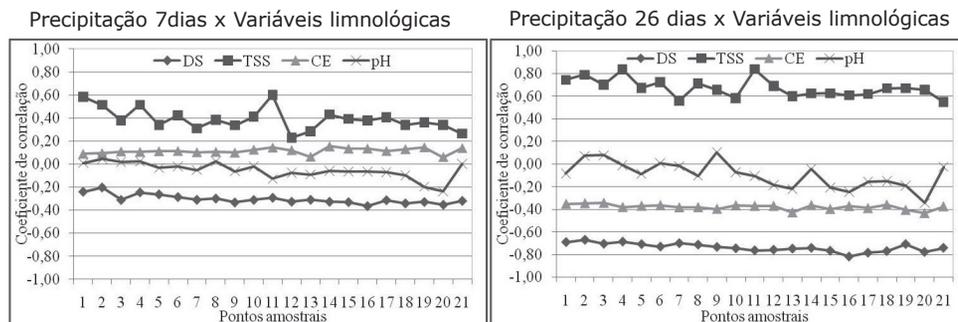


Figura 6 – Coeficiente de correlação das variáveis DS, TSS, pH e CE dos pontos amostrais em função das classes de uso da terra solo exposto (a) e agricultura (b)

Os cultivos agrícolas em fase de desenvolvimento vegetativo e sob condições semelhantes de precipitação (meses menos chuvosos - Fev. 06 e Jul. 06 e outros mais chuvosos Mar. 06 e Ago. 06) registraram participação similar nas variáveis limnológicas. Outra constatação refere-se à relação inversa entre as variáveis limnológicas e as fases agrícolas na bacia de captação, isto é, as variáveis limnológicas apresentam correlações inversas em relação ao uso da terra quando se considera o solo exposto e a agricultura. Esse quadro coincide com o encontrado por Kondratyev e Filatov (1999) que identificaram o período da primavera como o de maior entrada de nitrogênio total e fósforo total em lagos (setores de deságüe dos tributários).

Precipitação Pluviométrica

O acumulado das precipitações pluviométricas no período de Out. 2005 a Set. 2006 caracterizou um ano seco (1351 mm) (Quadro 5), sob domínio da La Niña, visto que a normal climatológica para a região é de 1748 mm. Out. 2005 foi o mês mais chuvoso do período, mas foi inferior a média histórica para esse mês, que é de 170 mm (COSTA, 2010). O mês de maio de 2006 foi o mais seco com acúmulo de 25 mm no período antecedente ao trabalho de campo.

Quadro 5 – Volume de precipitações anteriores a coletas de campo (mm)

Período 2005/2006	Out.20	Nov.18	Dez.14	Jan.06	Fev.01	Fev.26	Mar.25
7 Dias	101	10	0	41	12	4	101
26 Dias	298	79	70	87	76	44	122
Período 2005/2006	Abr.20	Mai.16	Jun.14	Jul.07	Ago.25	Set.26	Total
7 Dias	27	0	2	4	0	3	303
26 Dias	112	25	55	63	155	168	1351

Fonte: INPE-CPTEC, 2007.

Influência do regime de precipitações na limnologia do reservatório

A correlação (r) foi maior entre as variáveis limnológicas e o volume de precipitações ocorrido nos 26 dias anteriores a coleta, do que em relação aos 7 dias anteriores (Figura 6). Nesse sentido, conclui-se de que as variáveis limnológicas responderam ao acúmulo mensal de precipitação, com exceção do pH. Todavia, os maiores impactos da precipitação são observados no aumento do TSS ($rM=0,61$, $\alpha \geq 0,05$) e na redução do DS ($rM=-0,66$, $\alpha \geq 0,01$), concordando com os resultados encontrados por Silva et al. (2008). Embora a correlação entre chuva e CE não seja significativa ($rM=-0,30$, $\alpha \geq 0,30$), a relação inversa indica que em períodos menos chuvosos contém mais sais presentes na água que elevam essa variável. A variável pH não apresentou relação com a chuva.

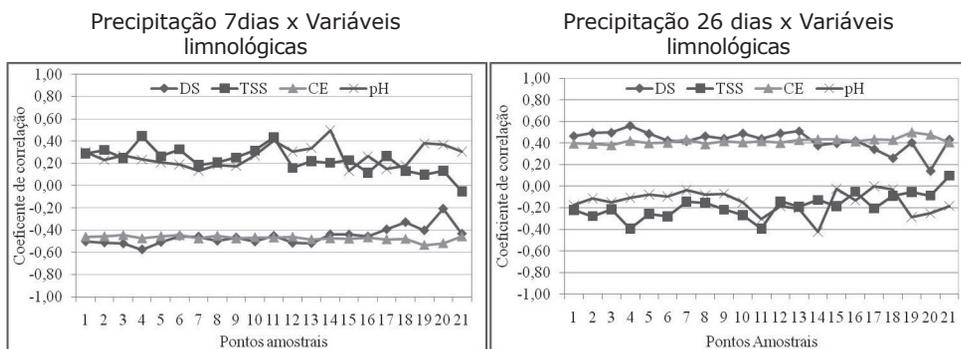


Figura 7 – Coeficiente de correlação entre variáveis limnológicas e precipitação pluviométrica para 7 dias (a) e 26 dias (b) antes da coleta de dados de todos os pontos amostrais

A formação de compartimentos aquáticos

A distribuição espacial das variáveis limnológicas resultou em dois compartimentos aquáticos no reservatório: um no setor a montante e outro no setor a jusante. Esses compartimentos estiveram relacionados com o uso da terra e a precipitação. A presença de compartimentos aquáticos já havia sido identificada em trabalhos realizados por Wachholz (2007) e Sartor (2008). Porém a localização dos dois setores é diferente para cada variável limnológica e período do ano. A figura 8 indica qual ponto amostral separa os dois compartimentos aquáticos em cada mês, considerando-se as variáveis limnológicas utilizadas.

A existência desses compartimentos ocorre normalmente para o DS e o TSS, enquanto que para as variáveis CE e pH ocorre somente para algumas datas. A área de ocorrência do compartimento aquático localizado no setor montante varia do ponto amostral 20 até o 13. A entrada de material a partir dos principais tributários proporciona influência direta no reservatório, produzindo maior ou menor área de abrangência conforme a fase agrícola e o volume de precipitações. Por outro lado, em junho, a maior média de transparência reduziu o setor montante a área atingida pelos P-19 e P-20. Wetzel (2001) destaca a existência de três zonas distintas ao longo do gradiente longitudinal do reservatório, um, no setor montante, com características de rio, outro no setor jusante com configuração lacustre e um terceiro definido como zona de transição.

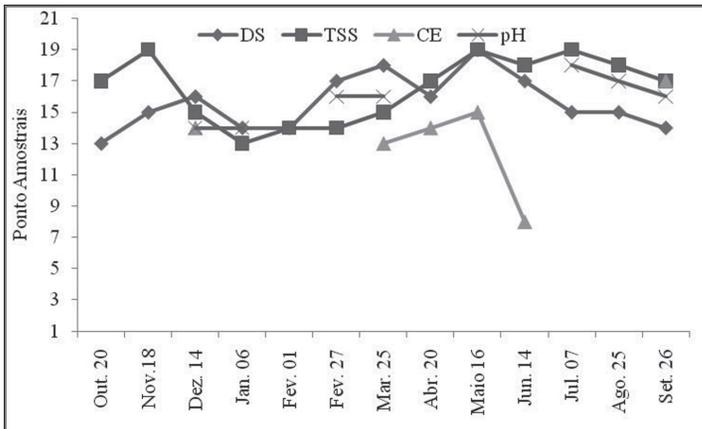


Figura 8 – Pontos amostrais que definem os limites de transição dos compartimentos aquáticos montante e jusante, considerando-se as variáveis limnológicas DS, TSS, CE e pH

(Figura obtida a partir da seqüência de valores acima ou abaixo da média das variáveis limnológicas).

A redução da transparência no reservatório é decorrente do maior aporte de material advindo dos tributários e das suas maiores vazões durante os períodos de maiores índices pluviométricos. Nessa situação, o compartimento montante expande-se para interior do reservatório. Já em períodos de menores precipitações, o compartimento jusante é melhor definido.

Apesar de a transparência ser quase inversamente proporcional ao TSS ($r=-0,87$, $\alpha=0,01$, para RCS) o comportamento dessa variável difere quando se trata da formação do compartimento montante. A ampliação desse compartimento de Dez.05 a Mar.06 pode estar relacionado com a disponibilidade de nutrientes e aumento da transparência, favorecendo o crescimento de algas (BREUNIG et al., 2007).

Os mapas resultantes das médias dos pontos amostrais durante os doze meses de coleta demonstram a existência de compartimentos aquáticos para as variáveis limnológicas (Figura 9). A entrada dos tributários provoca mudanças nas características da água, conduzindo a formação de compartimentos aquáticos, oriundos da diferença destes para a área central do reservatório. Na medida em que a água se desloca para porções mais a jusante dentro do reservatório, deposita parte do material nela suspenso, promovendo o aumento da transparência e diminuição da concentração do TSS. A CE apresenta menor discriminação de compartimentos aquáticos, indicando possíveis alterações no setor montante com o aumento dessa variável, influenciado possivelmente pela maior disponibilidade de matéria orgânica proporcionada pelos paliteiros e pela presença de macrófitas aquáticas e a ressuspensão do material. O pH também é afetado por essas características, porém de forma mais pronunciada, contribuindo para a acidez na água em locais que tenham entrada de tributários.

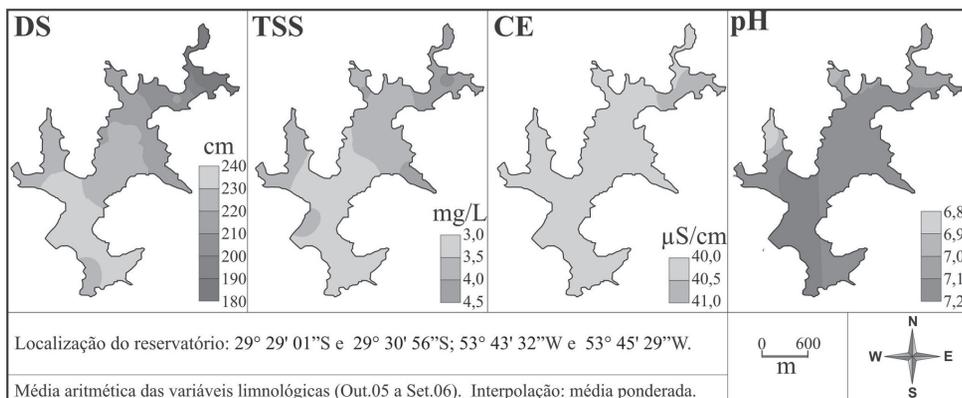


Figura 9 – Compartimentos aquáticos obtidos a partir das médias das variáveis limnológicas para o período de Out.05 a Set.06

A definição dos compartimentos aquáticos e o impacto dos tributários no setor montante podem ser indicados também pela correlação significativa entre os pontos amostrais e período, para cada variável limnológica. As variáveis TSS, DS e pH apresentam correlação significativa, entre a série temporal dos pontos 1 a 12 de cada variável ($\geq 0,90$, $\alpha = 0,01$). Com e entre os demais pontos a correlação é menor, na medida em que se aproxima da entrada dos principais tributários, principalmente entre os pontos 18, 19 e 20. A variável CE apresenta entre todos os pontos correlação significativa ($\geq 0,95$, $\alpha = 0,01$).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As variáveis limnológicas DS, TSS, CE e pH permitem concluir que períodos com maior quantidade de solo exposto e com reduzida área foliar das culturas agrícolas, concomitante a maiores índices de precipitação pluviométrica, produzem maiores interferências das bacias hidrográficas na limnologia do reservatório. Por outro lado, as culturas em fase de desenvolvimento vegetativo (maior dossel da soja e do trigo) protegem melhor o solo contra a erosão, observado pelas maiores transparências e diminuição do TSS. Em relação a isso, também, pode ocorrer à redução do custo de tratamento da água para o abastecimento da cidade de Santa Maria.

A divisão em compartimentos aquáticos ocorre a partir do setor central do reservatório (ponto amostral 13) e seu limite desloca-se, em certos meses, em direção montante até o ponto amostral 19, dependendo da variável limnológica e do período do ano. Nota-se que o setor jusante ocupa maior área do reservatório. O setor montante caracteriza-se por maiores contribuições da rede de drenagem, visto que a área ocupada pela SB3, SB4 e SB5, compreende aproximadamente 80% da bacia hidrográfica (maior contribuição das áreas agrícolas), mas que diante do grande volume de água do reservatório, esta muda de características em direção jusante dentro do reservatório.

Portanto, a identificação do uso da terra desenvolvido na bacia hidrográfica e o índice pluviométrico fornecem informações importantes no que diz respeito ao estado limnológico do reservatório Rodolfo Costa e Silva. A boa densidade de pontos amostrais e periodicidade mensal foram muito importantes para a compreensão das variações espaço-

temporal das variáveis limnológicas. Todavia, outros fatores inerentes ao funcionamento do reservatório (e.g., tempo de residência, nível do reservatório, vazão) e às características da bacia hidrográfica (e.g., clima, relevo, solo, vegetação, população, agricultura, pecuária) precisam ser investigados, com a finalidade de detectar, individualmente e conjuntamente, a influência desses elementos nas variáveis limnológicas.

AGRADECIMENTOS

À Fapesp – Projeto nº 2008/53364-1 e à CAPES – Projeto nº 0258059 pela concessão de bolsas de estudo e ao financiamento da pesquisa. Agradecemos ao parecerista anônimo por sugestões ao desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

ANGELINI, R. Bases para a aplicação da teoria da informação em ecossistemas, com ênfase na ascendência. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 2, p. 275-283, 2002.

ASSIREU, A. T.; ROLAND, F.; NOVO, E. M. L. M.; BARROS, N. O.; STECH, J. L.; PACHECO, F. S. Existe relação entre a complexidade geométrica do entorno dos reservatórios e a variabilidade espacial dos parâmetros limnológicos? In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., Florianópolis, 2007. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 3263 - 3269.

BRANCO, S. M.; ROCHA, A. A. **Poluição, proteção e usos múltiplos de represas**. São Paulo: Edgard Blücher, CETESB, 1977. 185 p.

BREUNIG, F. B. **Características limnológicas e espectrais do reservatório de água da CORSAN, Itaara/Júlio de Castilhos-RS**. 131 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

BREUNIG, F. M.; WACHHOLZ, F.; PEREIRA FILHO, W.; RUDORFF, C. de M. Análise das propriedades ópticas da água do reservatório Rodolfo Costa e Silva - Itaara/RS, usando dados espectrais de campo e imagens orbitais multiespectrais. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.2, n. 2, p.88 - 102, 2007.

CHRISTOFOLETTI, A. **A análise de sistemas em geografia**. São Paulo: Hucitec, 1980. 144 p.

CLESCERI, L. S.; GRENNBERG, A. E; EATON, A. D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 1998. 1220 p.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 004, de 18 de setembro de 1985**. Disponível em: <<http://HYPERLINK> <http://www.lei.adv.br/conama01.htm>>. Acesso em: 10 out. 2005.

CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento. **Barragem Rodolfo Costa e Silva (Val de Serra) Sistema de Abastecimento de Água de Santa Maria**. (Características técnicas). Santa Maria: SURCEN, 2007.

CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento. **Nível da Barragem Rodolfo Costa e Silva**. (Planilha). Santa Maria: SURCEN, 2007. (Dados não publicados).

COSTA, E. **Estudo da variabilidade pluviométrica diária, mensal e anual da bacia hidrográfica do Alto Jacuí/RS**: uma análise a partir de anos padrões. 41 f. Relatório Técnico (Estágio Profissional Supervisionado – Graduação Geografia/Bacharelado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

CRUZ, P. T. **100 Barragens Brasileiras**: casos históricos, materiais de construção, projeto. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 1996. 648 p.

CURRAN, P. J.; NOVO, E. M. M. The relationship between suspended sediment concentration and remotely sensed spectral radiance: a review. **Journal of Coastal Research**, Charlottesville, v. 4, n. 9, p. 351-368, 1988.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 412p.

ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602 p.

FARIA, A. P. Os processos erosivos e as suas variações nas escalas temporal e espacial: revisão e análise. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 58, n.1/4, p.37 – 54, Jan/dez. 1996.

FEE – Fundação de Economia e Estatística. **Estimativa da população, por município e situação de domicílio, Rio Grande do Sul – 2008**. Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/estatisticas/pg_populacao.php> . Acesso em: 15 de mar. de 2010.

FIBGE. **Levantamento dos recursos naturais volume 33**: Folha SH-22 Porto Alegre e parte das Folhas SH-21 Uruguaiana e SI-22 Lagoa Mirim. Projeto RadamBrasil. Rio de Janeiro: IBGE, 1986. 796 p.

HENRY, R. **Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos**. São Carlos: RIMA, 2003. 350 p.

HESPANHOL, I. Água e saneamento básico – Uma visão realista. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas doces no Brasil, capital ecológico, uso e conservação**. (3.ed) São Paulo: Escrituras, 1999. Cap. 9, p. 269-324.

INPE-CPTec. **Plataforma Coleta de Dados**. São Martinho da Serra. Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br/PCD/historico/passo4.jsp>>. Acesso em: 15 maio 2007.

KIMMEL, B. L.; LIND, O. T.; PAULSON, J. L. **Reservoir Primary Production**. In: KENT W. THORNTON, K. W.; KIMMEL, B. L.; PAYNE, F. E. (Ed.). **Reservoir Limnology: Ecological Perspectives**. New York: John Wiley and sons, 1990. Cap. 6, p. 133-173

KIRK, J. T. O. **Light & photosynthesis in aquatic ecosystems**. 2. ed. Cambridge University Press. 1996. 525 p.

KONDRATYEV, K. Y.; FILATOV, N. **Limnology and remote sensing: a contemporary approach**. Springer-Praxis series in remote sensing. Springer- Verlag: New York. 1999. 399 p.

MAGNOLI, D. **Cenário gaúcho**: representações históricas e geográficas. São Paulo: Moderna, 2001. 127 p.

PEREIRA FILHO, W. **Influência dos diferentes tipos de uso da terra em bacias hidrográficas sobre sistemas aquáticos da margem esquerda do reservatório de Tucuruí, PA**. 138f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

REBOUÇAS, A. C. Águas doces no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas doces no Brasil, capital ecológico, uso e conservação**. (3.ed.) São Paulo: Escrituras, 1999. Cap. 1, p. 1-35.

SARTOR, S. C de B. **Avaliação temporal de variáveis limnológicas do reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS, e o uso da terra na área de captação.** 93 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

SARTORI, M. da G. B. **Clima e percepção.** 153f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

SARTORI, M. da G. B. **O Clima de Santa Maria:** do Regional ao Urbano. 165 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979.

SARTORI, P. L. P. Geologia e Geomorfologia de Santa Maria. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 38, p. 39-42, 2009.

SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A. V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amazônica**, v. 38, n.4, p. 733-742, 2008.

TUNDISI, J. G. Gerenciamento integrado de bacias hidrográficas e reservatórios – estudos de caso e perspectivas. In: NOGUEIRA, M. G. HENRY, R.; JORCIN, A. (Org.). **Ecologia de reservatórios:** impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata. São Carlos: Rima, 2006. Cap. 1, p. 1-21.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 631 p.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M.; ABE, D. S.; ROCHA, O; STARLING, F. Limnologia de águas interiores. Impactos, conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas doces no Brasil, capital ecológico, uso e conservação.** (3.ed). São Paulo: Escrituras, 1999. Cap. 7, p. 203-240.

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

WETZEL, R. G. **Limnology:** Lake and River Ecosystems. 3. ed. Academic Press: San Diego. 2001. 1006 p.

Recebido em maio de 2010

Revisado em setembro de 2010

Aceito em janeiro de 2011