

CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO: Reservatório de Cachoeira Dourada - GO/MG, Brasil

Prof. Dr. João Batista Pereira Cabral

Bolsista Produtividade 2 do CNPq

Universidade Federal de Goiás, Depto. de Geografia Campus de Jataí

Rua Riachuelo, 1530, Cep 75804-020, Jataí (GO), Brasil

E-mail: jbcabral2000@yahoo.com.br

Prof. Dr. Luiz Alberto Fernandes

lufernandes@ufpr.br

Prof. Dr. Valter Antonio Becegato

becegato@cav.udesc.br

Msc. Sebastião Alves da Silva

silvaufg@yahoo.com.br

RESUMO

A determinação da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) no lago da usina hidrelétrica de Cachoeira Dourada foi realizada em duas campanhas, uma em junho de 2003 e outra em fevereiro de 2005. A CSS referente aos períodos úmido e seco apresentou o predomínio de valores até 10 mg/l. Todavia na desembocadura dos córregos das Araras e Corgão as concentrações foram superiores a 10 mg/l bem como aquelas entre o córrego do Corgão e Flecha, cujos valores chegaram a 15 mg/l. Os índices de visibilidade (SEC) da água entre a barragem e o córrego do Corgão apresentaram valores com amplitudes entre 100 - 120 cm e 80 - 100 cm nos períodos úmido e seco respectivamente. Os menores valores de CSS e SEC para o trecho compreendido entre o córrego do Candango e o córrego dos Patos podem estar relacionados ao aumento da seção transversal, à diminuição da velocidade de escoamento e à existência de vários bancos de macrófitas aquáticas.

Palavras-chave: Reservatório, sedimentos em suspensão, índices de visibilidade

ABSTRACT

The determination of the sediments in suspension concentration (CSS) in the Cachoeira Dourada Hydroelectric Plant's reservoir, was realized in two periods, the first in June 2003 and the other in February 2005. The humid and dry periods' referred CSS showed the predominance of values up to 10 mg/l. However, in the Araras and Corgão rivers mounths, the concentration values reached more than 10 mg/l, like those ones between Corgão and Flecha rivers, which values reached 15 mg/l. The water visibility index (SEC) between Corgão dam and its stream presented values with amplitudes between 100-120 cm and 80-100 cm in the humid and dry periods, respectively. The minor values (CSS and SEC) to the stretch located between Candango and Patos streams can be related to the transverse section's increase, out flowing's speed reduction and to the existence of accumulations of water macrophytes.

Keywords: Reservoir, sediments in suspension, visibility index

RÉSUMÉ

La détermination de la concentration des sédiments en suspension (CSS) Réservoir le lac de l' usine hydroélectrique du District de Cachoeira Dourada a été réalisée Réservoir des deux étapes: une en juin 2003, et d'autre en février 2005. La CSS référente aux périodes humide et sèche ont présentée des valeurs jusqu'à 10 mg/l. Néanmoins dans l'embouchure des ruisseaux des Araras et Corgão les concentrations sont supérieures aux 10 mg/l, bien comme lesquelles entre les ruisseaux Corgão et Flecha, dont les valeurs sont arrivés aux 15 mg/l. Les indices de visibilité (SEC) de l'eau entre le barrage du réservoir et le ruisseau Corgão ont présenté des valeurs avec l'ampleur entre 100 – 200 cm et 80 – 100 cm dans les périodes humide et sèche respectivement. Les mineures valeurs de CSS et SEC pour le trajet compris entre le ruisseau dos Patos peuvent être rapportés à une croissance de la section transversale et à la diminution de la vitesse d'écoulement et à l'existence de plusieurs bancs de macrophytes de l'eau.

Mots clés: Réservoir, sédiments en suspension, visibilité de l'indice

Introdução

O conhecimento da quantidade de sedimentos transportada pelos rios é de fundamental importância para o planejamento e aproveitamento dos recursos hídricos de uma região, uma vez que os danos causados

pela deposição destes sedimentos dependem da quantidade e da natureza dos mesmos, as quais, por sua vez, dependem dos processos de erosão, transporte e deposição.

Dentre os problemas causados pela deposição de sedimentos em suspensão nos lagos de usinas hidrelétricas, pode-se destacar o assoreamento, que altera a capacidade de armazenamento de água, diminuindo a vida útil do reservatório, provocando a necessidade de dragagens periódicas de alto custo.

A demanda energética em constante aumento tem sido o motivo principal para a construção de grandes reservatórios destinados à produção de energia elétrica no Brasil. Todavia, se mal geridas, tais obras têm o seu tempo de vida útil reduzida pelo assoreamento dos reservatórios, implicando na diminuição do volume de água utilizável e como consequência direta, redução na quantidade de energia gerada, como no caso da usinas de Funil (Vilhena *et al.*; 2003) e Americana (Coelho, 1993).

A retenção de material particulado no lago, pela redução no regime de fluxo, é inevitável, porém, o assoreamento é um processo passível de ser administrado e reduzido. Nas últimas décadas desenvolveram-se estudos relacionados ao assoreamento de reservatórios de usinas hidrelétricas, visando sua manutenção e redução de perda de vida útil.

Na atualidade, um grande número de reservatórios brasileiros se encontra total ou parcialmente assoreado, principalmente os de pequeno e médio porte. Isto acontece pelo fato de não se ter considerado o potencial de erosão nas bacias hidrográficas, nem os processos de sedimentação envolvidos, o que poderia atenuar a perda de vida útil dos mesmos (CARVALHO, 2000; CARVALHO *et al.* 2000).

A escolha do reservatório de Cachoeira Dourada para avaliação da concentração de sedimentos em suspensão e visibilidade da água deve-se ao fato do mesmo receber sedimentos que não retidos nas usinas de Emborcação e Itumbiara e ser a da menor usina em extensão e armazenamento de água no complexo de barragens construídas ao longo do rio Paranaíba, e ao fato de constituir-se no único reservatório daquele rio que opera a fio d'água, cuja profundidade média é de 15 m.

Neste contexto o presente trabalho procurou determinar os principais locais de aporte de sedimentos, cujos dados servem para o planejamento e futuro gerenciamento dos recursos hídricos e hidrelétricos da bacia do rio Paranaíba.

Localização da área de estudo e aspectos físicos da bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica da Usina Hidrelétrica (UHE) de Cachoeira Dourada (GO/MG) corresponde ao trecho médio do rio Paranaíba, localizada na divisa entre os estados de Goiás e Minas Gerais. Situa-se entre as coordenadas de 7910000 m e 8040100 m de latitude Sul, e 650000 m e 750500 m de longitude W (Figura 1).

O reservatório foi construído em 1959, faz parte do complexo de barragens da bacia do rio Paranaíba, com a finalidade principal de gerar energia elétrica. Seu lago foi planejado para um volume total de $519 \times 10^6 \text{ m}^3$, cuja bacia de drenagem abrange uma área de 5.111 km².

Os solos são típicos de regiões tropicais, muito intemperizados e possuem baixa fertilidade natural. Predominam os Latossolos com horizonte "A" moderado ou proeminente, de textura argilosa ou muito argilosa.

O substrato da bacia hidrográfica é constituído por diversos tipos de rochas e seus produtos de alteração como: basaltos da formação Serra Geral (Cretáceo Inferior) do Grupo São Bento; arenitos das formações Vale do Rio do Peixe (FVRP) e Marília do Grupo Bauru, depositadas no Cretáceo Superior; rochas graníticas e gnáissicas do embasamento arqueano.

O relevo é constituído por formas de dissecação tabulares e elevações de topo plano, com diferentes ordens de grandeza, formando um conjunto de feições complexas. A superfície apresenta sulcos controlados por estruturas tectônicas, bordas escarpadas em alcantis com reversos em rampas de baixa declividade, geralmente interrompidas por relevos residuais de topos tabulares e níveis topográficos, embutidos na superfície geral dos planaltos.

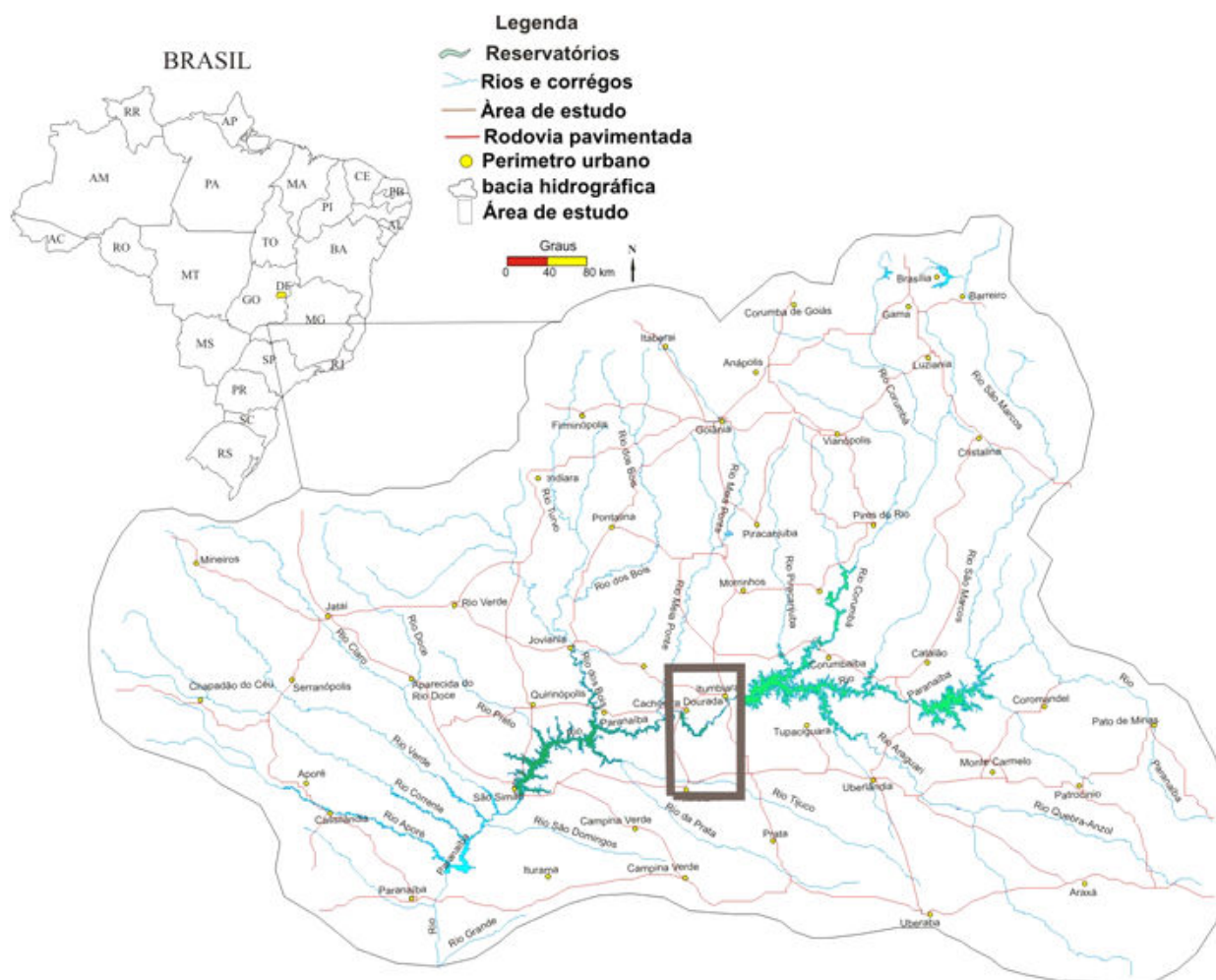


Figura 1 - Mapa da área de estudo no contexto da bacia hidrográfica do rio Paranaíba, adaptado da carta do estado de Goiás (SIG-GOIAS, 2003).

As áreas com relevos residuais correspondem aos morros “testemunhos” areníticos da Formação Marília. Esses arenitos são agregados por cimento de carbonato de cálcio e/ou argilas, o que lhes conferem maior resistência em relação ao intemperismo e à erosão (IBGE 1983; LATRUBESSE *et al.* 2004).

O clima dominante segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, ou seja, quente e úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno, com temperatura média anual entre 22° C e 24° C e máxima podendo ultrapassar 35° C.

A precipitação anual oscila entre 1200 e 1600 mm, cujo período chuvoso concentra-se entre outubro e abril. As médias mensais nesse período variam de 100 a 350 mm, enquanto na estação seca (abril a setembro), o índice pluviométrico varia de 0 a 100 mm, caracterizando um período de deficiência hídrica e de temperaturas mais baixas (SCOPEL & ASSUNÇÃO, 1999; SECTEC, 2000; CABRAL *et al.* 2005).

Materiais e métodos

As amostras de água foram coletas com a garrafa de *Van Dorn* com volume de 2 litros, acondicionadas em recipiente de isopor com gelo para manter as propriedades físicas/químicas e

transportados para o Laboratório de análise do curso de Geografia da Universidade Federal de Goiás.

A concentração do material em suspensão na água foi determinada de acordo com o método gravimétrico descrito em Wetzel e Likens (1991). As amostras de água foram passadas em filtros GFC e pesados em balança analítica. Os filtros foram secos em estufas a 60 °C por 24 h, obtendo-se o segundo peso e após foram calcinados a 550 °C. Por diferença de pesagem, obtém-se a concentração de sedimentos em suspensão.

As concentrações de sedimentos em suspensão foram determinadas por intermédio da equação:

Onde:

C.S.S. = Concentração de sedimentos em suspensão (mg.l^{-1});

P1 = peso inicial do filtro (g);

P2 = peso do filtro com material coletado após secagem em estufa (g);

V = volume de água utilizado para filtração (l)

1000 = fator conversão para miligramas

A transparência da água foi avaliada com o uso do disco de Secchi cujo diâmetro é de 20 cm, colorido alternando partes brancas e pretas. Tal medida foi obtida mergulhando-se o disco em água e na parte sombreada do barco, através de uma corda graduada, conforme descrito em Esteves (1988).

No local de amostragem o disco foi submergido até o seu completo desaparecimento, anotando-se a respectiva profundidade. Tal medida foi correlacionada com o material em suspensão na água, tanto mineral como orgânico, seguindo a proposta de Esteves (1988). As leituras de profundidade do disco de Secchi foram feitas entre as 9 e 15 horas.

Para o estudo da correlação entre os dados obtidos *in situ*, empregou-se o método de Pearson descrito em Lanna (2000), verificando-se a relação entre a CSS e a visibilidade da água. Calculou-se o coeficiente de correlação “r” para um nível de significância “p” (probabilidade) de 0,05. As retas de regressão obedeceram ao limite de confiança de 95%. O coeficiente de correlação de Pearson cuja amplitude vai de +1 a -1, foi usado como índice para indicar o grau de associação linear entre as variáveis com dados nas escalas de intervalos ou de razões.

Discussão dos resultados

Os parâmetros limnológicos medidos no primeiro e segundo levantamentos a campo são apresentados nos Quadros 1 e 2. O parâmetro concentração de sedimentos em suspensão (CSS) foi definido como o total de partículas em suspensão retidas em filtro de malha de 45 μm , de acordo com o método de Wetzel e Likens (1991).

A visibilidade da água foi avaliada a partir da utilização do disco de Secchi (SEC). Os valores de visibilidade obtidos com o SEC expressam uma relação direta com a transparência da água, sendo que quanto menor for a transparência da água, menor será a profundidade em que é possível a visualização do disco, devido à maior dispersão da luz. Por outro lado, o valor obtido por este método é inversamente proporcional à quantidade de compostos orgânicos e inorgânicos no percurso da luz e ao coeficiente de atenuação da irradiância (Esteves, 1988; Kirk, 1996).

Quadro 1 - Parâmetros limnológicos medidos no primeiro levantamento de campo em (06/02/03 e 07/02/03 – período úmido).

Pontos	Latitude (m)	Longitude (m)	Concentração de sedimentos em suspensão (mg/l)	Visibilidade da água (m)
1A	6 617 58	7949523	14,2	1,08
1B	6 613 08	7949790	8,8	1,17
1C	6 609 03	7949984	9,2	1,17
1D	6 605 37	7950100	9	1,13
1E	6 600 32	7950300	6,4	1,15
2	6 605 09	7947941	8,8	1,15
3A	6 608 48	7945244	15,2	0,95
3B	6 610 42	7945710	6,4	1,08
3C	6 616 80	7946027	8	1,05
3D	6 617 52	7946454	8,8	1,09
4A	6 633 34	7944384	8	1,04
4B	6 640 28	7945055	7,2	1,06
5	6 642 72	7943917	8,8	1,06
6	6 647 88	7943213	8	1,02
7	6 652 99	7942369	11,6	1
8A	6 668 81	7939344	14,4	0,92
8B	6 670 64	7939921	11,6	1
8C	6 673 86	7940510	14,4	0,93
9A	6 691 34	7937013	19,2	0,82
9B	6 689 95	7938029	18,6	0,83
10A	6 724 53	7937790	21,8	0,69
10B	6 718 93	7938312	20,2	0,76
11	6 728 03	7939771	9,6	0,95
12	6 739 85	7941242	8,4	0,92
13A	6 761 83	7943651	13,2	0,88
13B	6 754 89	7943895	11,6	0,94
14	6 767 49	7945677	17,6	0,93
15	6 782 31	7946720	10,4	0,93
16	6 803 07	7946365	11,2	0,97
17	6 813 61	7948791	19	0,89
18A	6 827 99	7950356	18,8	0,79
18B	6 830 49	7950317	19	0,75
19A	6 857 07	7951049	20	0,76

Quadro 2 - Parâmetros limnológicos medidos no segundo levantamento de campo em (03 e 04/05/05 – período seco).

Pontos	Latitude (m)	Longitude (m)	Concentração de sedimentos em suspensão (mg/l)	Visibilidade da água (m)
1A	6 594 18	7951889	6,4	0,95
1B	6 599 20	7952173	6,3	0,95
1C	6 604 39	7952625	2,4	0,98
1D	6 608 41	7952960	2,8	0,98
2A	6 614 77	7949646	9	0,82
2B	6 604 73	7949796	4,8	0,95
2C	6 595 32	7949696	3,6	0,95
3A	6 609 08	7945444	7,6	0,85
3B	6 615 61	7946365	6,8	0,95
4A	6 634 52	7944490	15	0,75
4B	6 637 87	7945444	11,6	0,80
5A	6 647 74	7942097	17,2	0,65
5B	6 651 09	7943486	17,6	0,72
6	6 660 97	7941779	5,6	0,95
7A	6 665 49	7940021	6,4	0,95
7B	6 673 52	7940306	4,4	0,98
8A	6 678 88	7937494	18,8	0,65
8B	6 681 72	7938565	19,2	0,70
9A	6 694 11	7936924	19,4	0,65
9B	6 702 14	7937946	18	0,63
10A	6 724 57	7937879	21,2	0,38
10B	6 719 55	7938732	20,8	0,40
11	6 733 95	7941477	6,4	0,90
12A	6 756 21	7942180	5,6	0,92
12B	6 748 84	7942666	4,8	0,92
13	6 762 24	7944457	12,8	0,75
14A	6 770 94	7945997	10,4	0,85
14B	6 766 25	7946248	16	0,65
15A	6 790 36	7946214	6,8	0,90
15B	6 789 52	7946633	6	0,94
16	6 802 41	7946332	6,4	0,90
17	6 811 45	7947219	12,4	0,83
18	6 814 63	7949160	17,8	0,80
19	6 824 67	7950165	16,8	0,80
20	6 836 22	7950550	18,6	0,70
21	6 850 11	7950734	19,2	0,72

De acordo com os dados (Quadros 1 e 2), a concentração de sedimentos em suspensão (CSS) referentes aos períodos úmido e seco apresentou o predomínio de valores até 10 mg/l. Todavia, as amostras coletadas na desembocadura dos córregos das Araras e Corgão apresentaram concentrações superiores a 10 mg/l, cujos valores podem ser explicados pela existência de solos desprovidos de vegetação, com cultivo agrícola e praias artificiais (Figura 2 e 3) dos clubes de lazer.



Figura 2 - Exemplo de ocupação na margem direita do lago próximo ao córrego da Araras, com praias artificiais.



Figura 3 - Exemplo de contribuição de sedimentos, face ao uso agrícola, na margem esquerda do reservatório próximo ao córrego da Baixadinha.

Entre o córrego do Corgão e Flecha, os valores de concentração de sedimentos em suspensão medidos nos dois períodos são respectivamente, de 10 e 15 mg/l, mas há um aumento da concentração, próximo ao córrego da Escondida (local onde foram coletadas as amostras de água 5A e 5B no período úmido – Quadro 2), para até 20 mg/l no período seco. O aumento da CSS nesse local pode estar associado à presença de um depósito antropogênico, resultante de obras nas estradas vicinais, rico em material siltoso na margem esquerda do reservatório (Figura 4), indicativo de que os processos erosivos localizados não são os únicos responsáveis pelo fornecimento de material para a carga em suspensão, pois se verifica que, entre o córrego da Flecha e o do Paiol, ocorreu uma diminuição deste valor.



Figura 4 - Depósito de material localizado na margem esquerda do reservatório próximo ao córrego da Escondida devido à restauração de estradas vicinais.

Entre o córrego da Flecha e o Candango ocorreu aumento dos valores da CSS em relação aos setores anteriores, que oscilaram entre 10 e 25 mg/l. Tal variação supõe-se estar vinculada aos seguintes fatores: ao maior fluxo de material, possivelmente produto da decomposição das rochas das formações Serra Geral e Vale do Rio do Peixe, carreados pelos córregos do Paiol, Baixadinha, Candango e Ribeirão Piratininga (Figura 5); ao aumento da velocidade de escoamento pelo maior número de afluentes existentes na área; à erosão das margens; à falta de cobertura vegetal nas bordas; à agricultura e à pecuária intensivas.

Especificamente em relação a esse setor do reservatório, os estudos de pluviosidade e erosividade desenvolvidos por *Cabral et al.* (2005) apresentaram sempre os maiores valores, face à referida área estar completamente desprovido de matas ciliares, em cujas margens praticam-se atividades como agricultura e pecuária (Figuras 6).

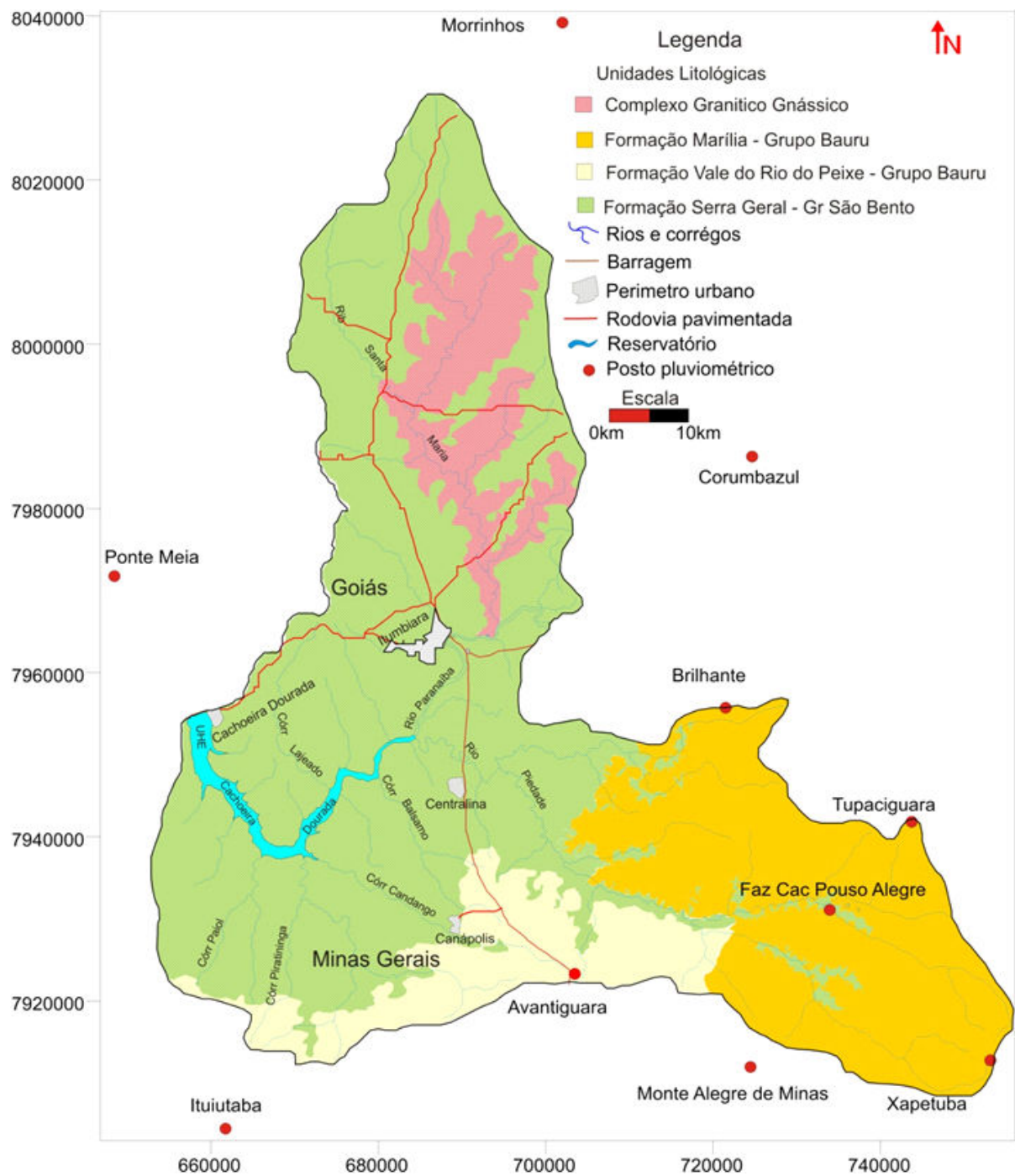


Figura 5 - Mapa geológico da área de estudo, adaptado da Agência Goiana de Indústria e Mineração/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (AGIM/CPRM - 2002).



Figura 6 - Exemplo de exposição do terreno e favorecimento da erosão na margem, causada pela pecuária e ação de ondas do lago na margem direita do reservatório próximo ao córrego da Flecha.

Desmoronamento de margem

Entre o córrego do Candango e dos patos a CSS variou entre 10 e 15 mg/l na estação úmida e entre 2,4 e 15 mg/l no período seco. A diminuição dos índices da CSS em relação ao setor anterior pode estar relacionada à presença de bancos de macrófitas aquáticas (Figura 6 A e B), que retêm parte dos sedimentos em suspensão. Esta variação da CSS pode ser associada, ainda, aos menores fluxos de materiais oriundos da Formação Vale do Rio do Peixe (Cabral *et al* 2008), dada a menor dimensão da área em relação ao setor anterior, à maior preservação das bordas do lago, ao aumento da seção transversal e à menor velocidade de escoamento em relação ao trecho anterior.

A)



B)



Figura 6 (a e b) - Exemplos de Ilhas de macrófitas aquáticas verificadas entre os córregos do Candango e dos Patos.

As macrófitas aquáticas presentes no reservatório de Cachoeira Dourada são do tipo: emersas, plantas enraizadas nos sedimentos de fundo do lago com folhas fora d'água; submersas livres, plantas que possuem rizóides pouco desenvolvidos e que permanecem flutuando submersas na água em locais de pouca turbulência e flutuantes em superfície de água com baixa velocidade de escoamento e em locais protegidos pelo vento.

Caso semelhante ao que ocorre neste setor do Lago quanto à visibilidade da água (SEC) e CSS foi verificado por Cavenaghi (2003) em cinco reservatórios do Rio Tietê, destacando que a visibilidade da água apresentou um acréscimo em profundidade e as concentrações de sedimentos em suspensão apresentaram uma depleção contínua ao longo do rio. Tal fato está associado ao barramento da água e modificação no perfil de equilíbrio do ambiente fluvial para lacustre alterando o processo de transporte e deposição do material de montante para jusante. Isso indica a impossibilidade de dissociar os problemas de assoreamento à ocorrência de plantas aquáticas.

Verificou-se que entre o córrego dos Patos e o rio Piedade, os valores da CSS em ambos os períodos oscilaram entre 10 e 20 mg/l. Isto pode estar relacionado à ressuspensão pela remobilização do material de fundo ocasionada pela exploração de areia com o uso de dragas (Figura 7) que atuam no local, bem como à menor seção transversal e ao aumento da velocidade de escoamento da água provocado pelo encontro com a da água do rio Piedade, que é o maior afluente em termos de volume de água e vazão, bem como a água advinda de montante pelo rio Paranaíba, que trazem materiais possivelmente originados das alterações das formações Marília, Vale do Rio do Peixe, Serra Geral e Complexo Granítico Gnáissico (Cabral *et al* 2008).



Figura 7 - Exemplos de possíveis oscilações nos valores da CSS e visibilidade SEC ocasionadas pela remobilização do material de fundo a partir da exploração de areia entre o córrego do Bálamo e o rio Piedade.

As oscilações dos valores pluviométricos na bacia também podem ser consideradas um fator que contribui para a variação da CSS, pois conforme os tipos de texturas dos solos, do seu manejo e da geomorfologia, podem ocorrer um aumento ou decréscimo dos índices de erosividade.

Por intermédio de uma análise espacial (Figuras 8 e 9), observa-se que o lago apresenta áreas mais homogêneas em relação a CSS no período úmido comparativamente ao período seco.

A principais áreas de aporte de material em suspensão de acordo com os índices de erosividade (Figura 10) se encontram nas áreas dos postos pluviométricos Brilhante e Avantiçara. Os maiores índices da CSS foram verificados na desembocadura do ribeirão Piratininga e do córrego do Candango, que transportam materiais predominantemente oriundos das formações Vale do Rio do Peixe e Serra Geral segundo Cabral *et al* (2005 e 2008).

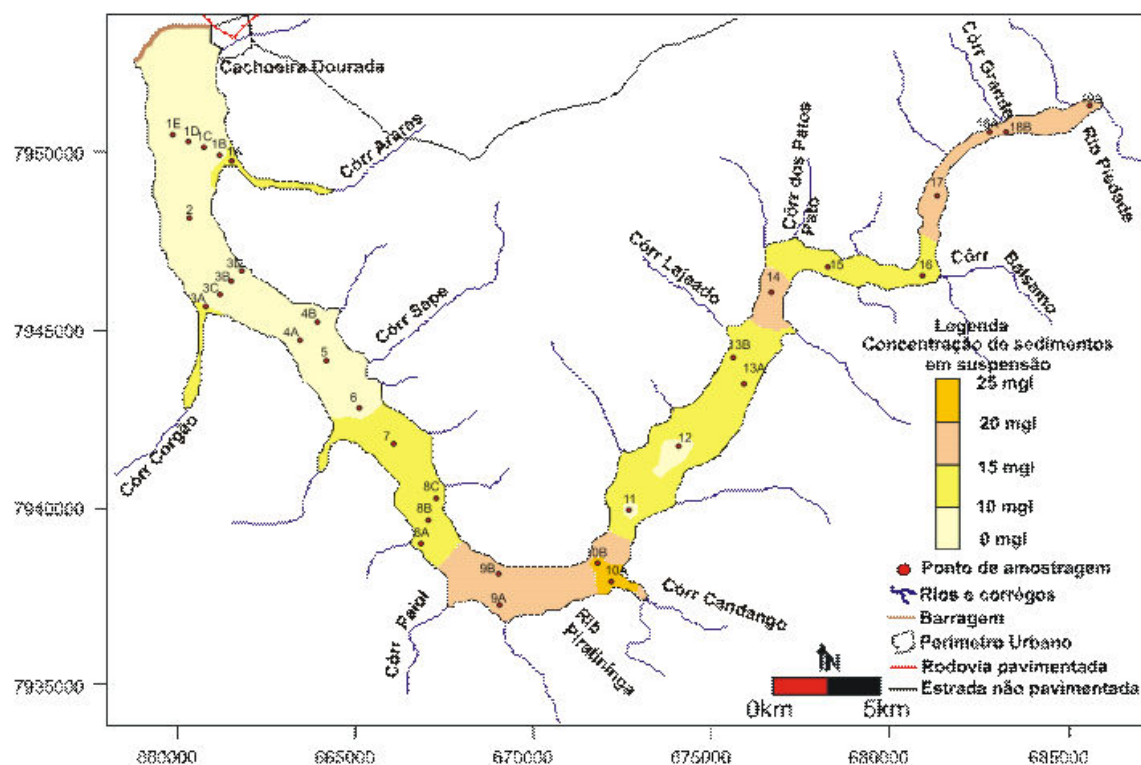


Figura 8- Espacialização dos valores da CSS no reservatório, referente a amostragem no período úmido.

Entre o córrego do Balsamo e o rio Piedade encontra-se o segundo trecho de maior índice de material em suspensão, possivelmente devido à ressuspensão do material de fundo pelo processo de extração de areia pelas dragas bem como à entrada de material carreado pelo rio Piedade proveniente de alteração das rochas das formações Vale do Rio do Peixe, Marília e Serra Geral.

Conforme Dekker (1993), a presença de altos valores de concentração de CSS provoca maior turbidez na água, impedindo a penetração da luz, fato este comprovado em Cachoeira Dourada quando se correlaciona a CSS e a visibilidade da água, demonstrando que a compreensão dos padrões de distribuição da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) e visibilidade da água a partir de dados de disco de Secchi em reservatórios são fortemente regulados pela descarga fluvial, representando, portanto, uma das condições necessárias para o entendimento de outros processos existentes nos corpos de água lênticos segundo Pereira Filho (2000).

Os menores valores da CSS e os maiores valores de visibilidade da água foram identificados entre o barramento e o córrego do Corgão devido aos seguintes fatores: menor velocidade de escoamento da água proporcionada pelo aumento da seção transversal; a construção do reservatório e possível suavização da topografia de fundo; relacionada ao processo de assoreamento. Quando se confrontam os dados limnológicos e granulométricos, verifica-se que esse trecho do reservatório é a principal área de deposição do material particulado fino.

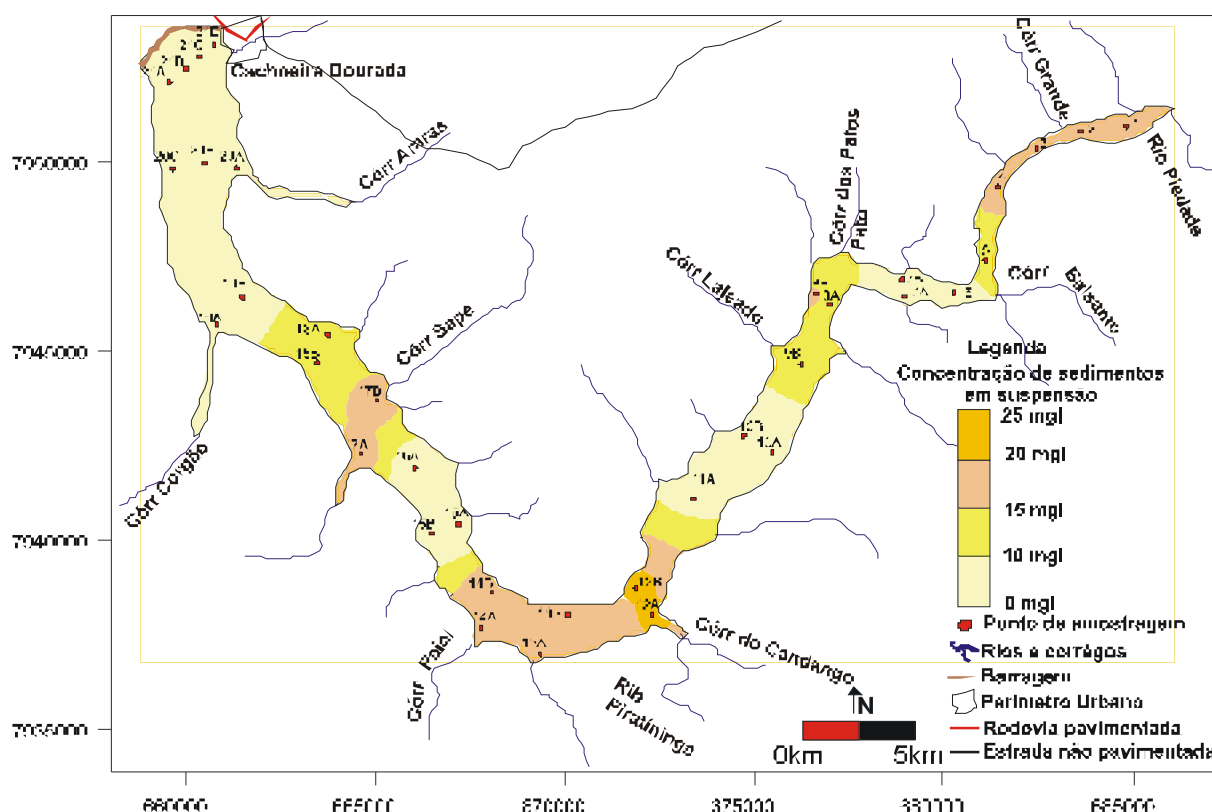


Figura 9 - Espacialização dos valores da CSS no reservatório, referente a amostragem no período seco.

Os índices de visibilidade da água entre a barragem e o córrego do Corgão apresentaram valores com amplitudes entre 100 - 120 cm e 80 - 100 cm (Quadros 1 e 2) nos períodos úmido e seco respectivamente, proporcionalmente inverso aos valores da CSS.

A heterogeneidade dos dados limnológicos verificados para esse setor podem ser explicados da seguinte forma: Existe maior quantidade de solos expostos nas proximidades do reservatório no período seco (período de entre-safra e preparo do solo); e pode ter ocorrido uma variação da vazão restituída pela barragem ao longo dos dias da semana, conforme o período do ano (úmido ou seco) e à medida que a necessidade de geração de energia atende às variações da demanda dos consumidores e pela variação dos índices pluviométricos da bacia do reservatório conforme Cabral *et al* (2005).

Entre os córregos do Corgão e Flecha, os valores de atenuação da visibilidade da água variaram entre 70 a 110 cm (Quadro 1 e 2), indicando como para o primeiro setor analisado, que tal faixa apresenta características de local de deposição dos sedimentos particulados finos para o parâmetro analisado aos mesmos fatores já destacados para o setor 1. Nos pontos de amostragem próximos ao depósito de material, junto à margem a visibilidade da água atingiu valores entre 30 e 70 cm.

No intervalo compreendido entre o córrego do Paiol e do Candango também foram verificados nos períodos úmido e seco, os menores valores de visibilidade SEC (entre 30 e 80 cm), proporcionalmente inverso a CSS.

Novo & Braga (1991, 1995) e Pereira Filho (2000), mencionaram que a concentração de sedimentos em suspensão está relacionada com o débito e com a velocidade do fluxo dos canais que alimentam um reservatório, que, no caso de Cachoeira Dourada, tende a aumentar o fluxo neste setor devido à maior contribuição proporcionada pelas bacias hidrográficas dos córregos do Balsamo e Ribeirão Piratininga em relação aos setores anteriores.

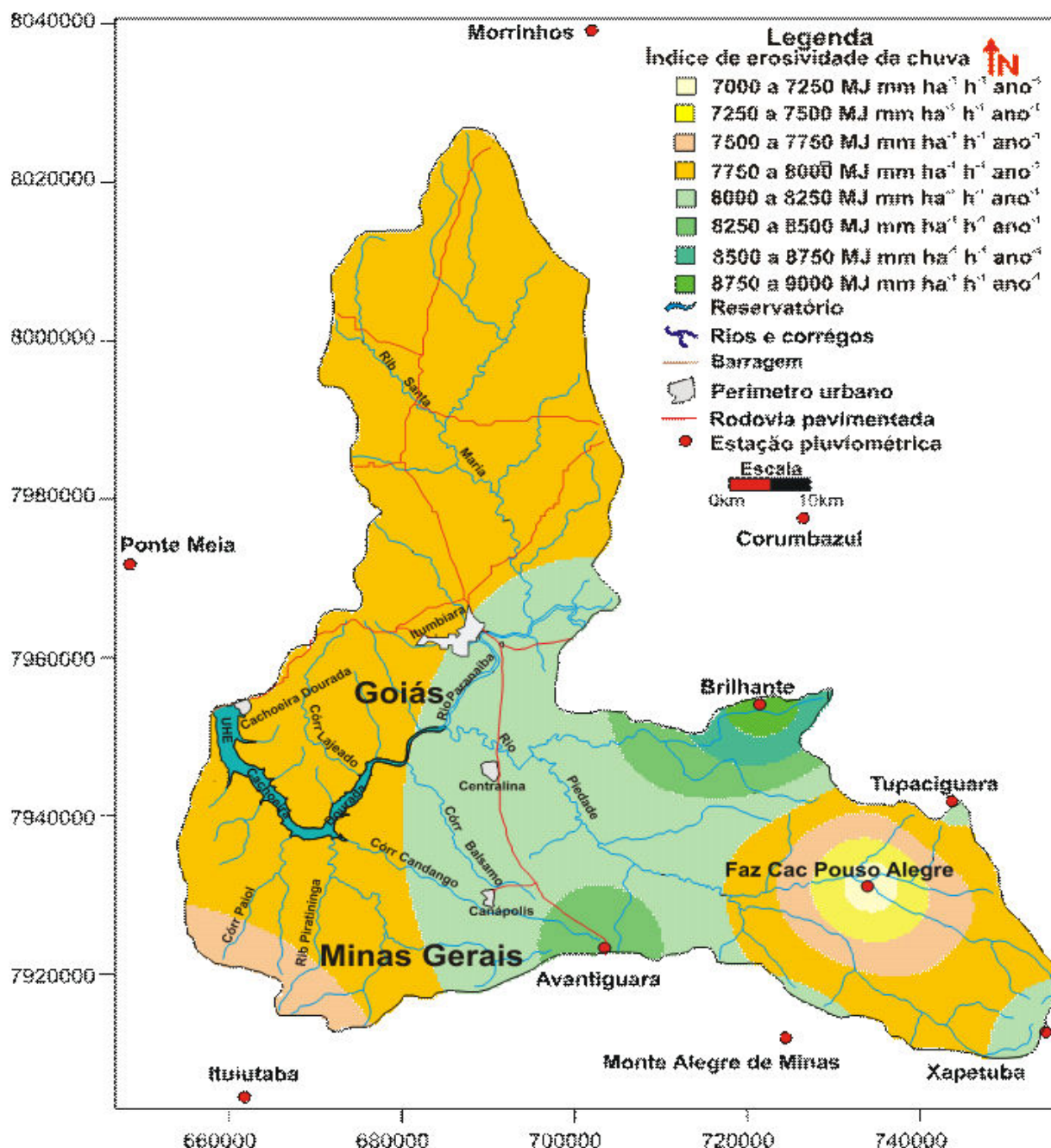


Figura 10 - Valores de erosividade média anual no período de 1973 a 2002 na área de influência da UHE Cachoeira Dourada, GO/MG.

Em função do exposto por esses autores a diminuição da visibilidade da água em relação ao aumento dos valores de CSS é diretamente proporcional ao aumento da velocidade de fluxos. Os maiores volumes de água e sedimentos são proporcionais aos canais em épocas de maiores precipitações. Com o aumento do débito proporcionado a velocidade de fluxo, fornecimento e transporte de sedimento dependem da intensidade e duração das chuvas sobre a área de drenagem.

Entre os córregos do Candango e Patos, os valores de visibilidade da água oscilaram entre 90 e 100 cm de profundidade no período úmido e 70 e 100 cm no período seco, cujos valores são superiores aos do setor anterior.

No intervalo compreendido entre o córrego dos patos e o rio Piedade, o índice médio de visibilidade na água (Figuras 11) varia entre 70 e 90 cm de profundidade. O aumento dos valores de CSS e a diminuição da visibilidade da água em relação ao setor anterior podem ser atribuídos principalmente à ressuspensão do material de fundo devido à exploração de areia por meio de dragas e, ainda, ao aumento da carga de sedimentos transportados pelos rios Piedade e Paranaíba, principalmente no período úmido bem como pela diminuição da seção transversal do reservatório e do aumento da velocidade de escoamento.

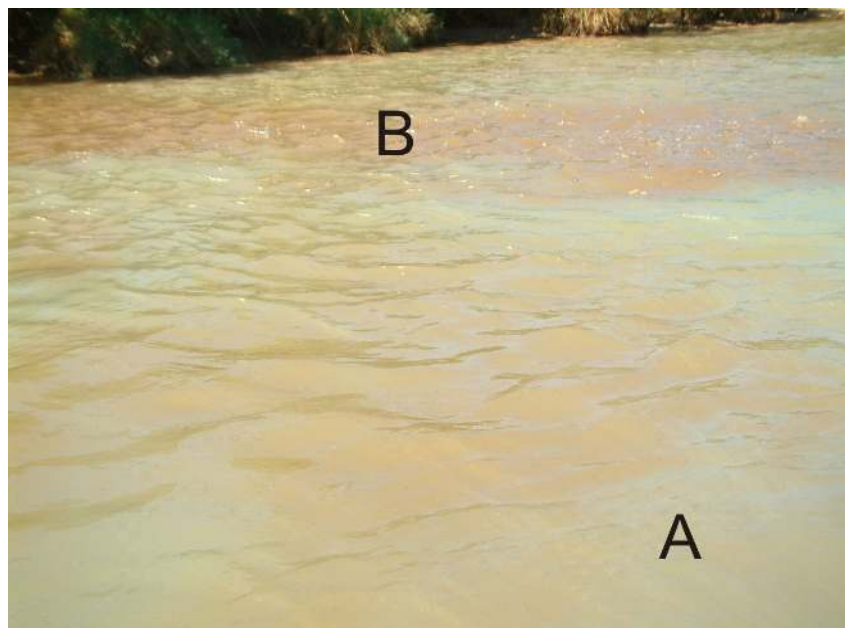


Figura 11 - Diferenças de cor da água (A e B) devido à concentração distinta de sedimentos em suspensão no rio Piedade e no encontro com o reservatório de Cachoeira Dourada.

A atividade de extração de areia é feita com draga pelo processo de sucção por bombas, que retira diretamente a areia do fundo do leito fluvial. O processo empregado faz com que os tubos de sucção provoquem turbilhonamento na água, alterando a sua coloração e aumentando a quantidade de material em suspensão. Dessa forma, a densidade das águas, sua cor e transparência são modificadas.

Segundo Silva *et al* (1997), normalmente as margens de rios e reservatórios apresentam-se solapadas em decorrência das atividades extrativas de areia, sobretudo por sucção. Assim, aprofunda-se o talvegue, produzindo uma compensação do processo erosivo nas margens do leito fluvial. A evolução desse processo minerador provoca o desmoronamento das margens e tufos de vegetação ciliar, incluindo árvores de médio a grande porte. Tal procedimento acaba por colaborar com o aumento na quantidade de areia dentro do canal fluvial, estimulando a continuidade do processo.

Por meio de uma análise espacial (Figuras 12 e 13), verifica-se uma diferença na visibilidade da água entre os valores de máxima e mínima visibilidade no período úmido e seco. Os valores máximos e mínimos observados nas amostras do período úmido e seco foram 0,69 - 1,17 e 0,4 - 0,98 m respectivamente. Os resultados encontrados não foram os esperados, pois no período seco, deveria ocorrer maior visibilidade na água, embora tal fato possa ser explicado devido a coleta dos dados por diferentes observadores.

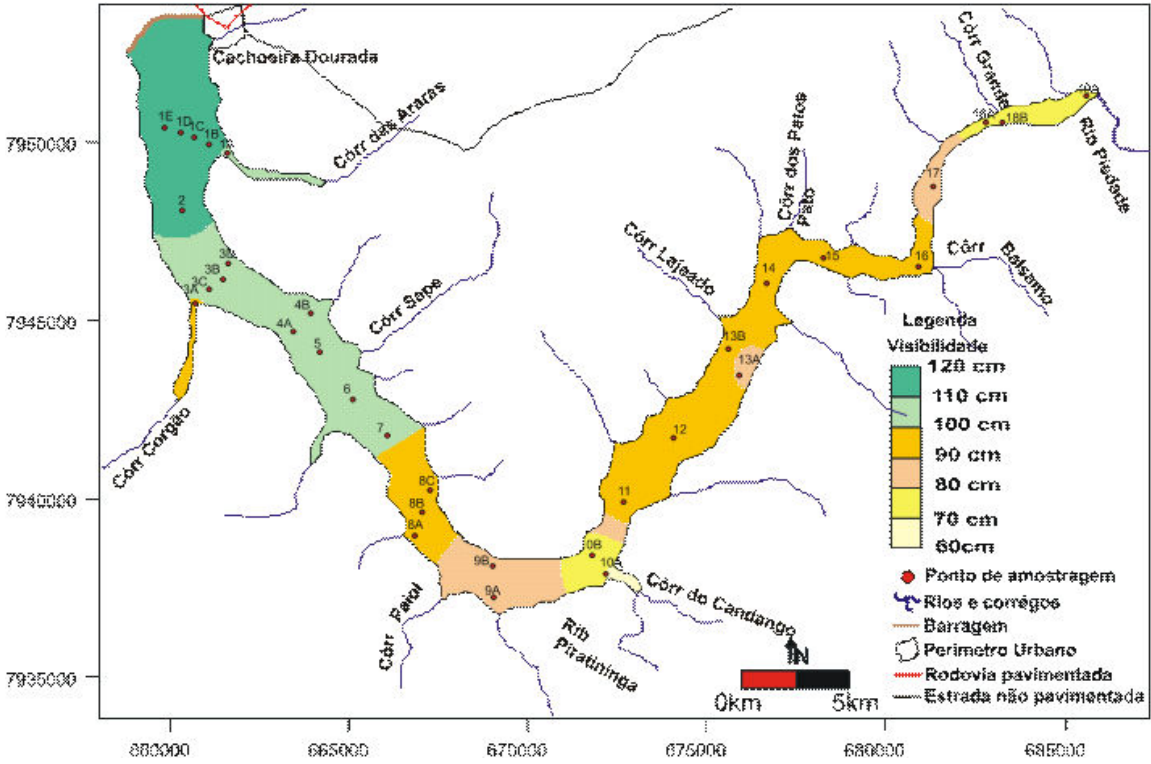


Figura 12 - Espacialização dos valores de visibilidade d’água no reservatório, referente a amostragem no período úmido.

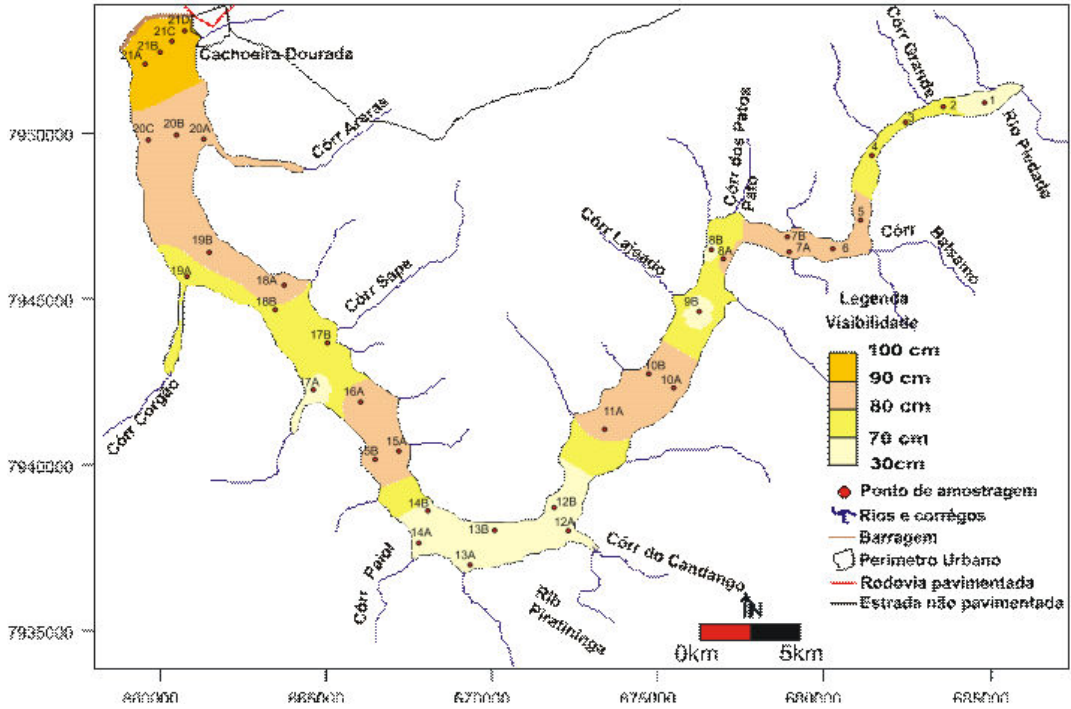


Figura 13 - Espacialização dos valores de visibilidade d’água no reservatório, referente a amostragem no período seco.

Os valores de visibilidade da água oscilaram entre 60 - 120 e 30 – 100 cm nos períodos úmido e seco respectivamente, cujas diferenças poderiam estar relacionadas à acuracidade de cada observador. Todavia a diferença de visibilidade da água não influenciou na correlação dos dados, pois a CSS foi inversamente proporcional à visibilidade da água, sendo importante na relação direta com a transparência da água, que é fundamental para a reprodução da vida no ecossistema aquático e uma avaliação indireta da turbidez de corpos d'água, sendo inversamente correlacionada com a concentração de partículas dissolvidas e em suspensão na água como foi constatado também em estudos desenvolvidos por Braga (1998) e Pereira Filho (2000).

Esta diferença de visibilidade nas águas em ambos os períodos pode ser explicada pela existência de maior quantidade de solos expostos próximos ao reservatório no período de colheita; pela variação da vazão restituída pela barragem ao longo dos dias da semana, à medida que a geração de energia acompanha as variações da demanda pelos consumidores, pela diminuição dos índices pluviométricos sobre a bacia do reservatório, e por turbilhonamento na água proporcionado pela extração de areia.

As amostras localizadas na área de influência das águas do ribeirão Piratininga e do córrego do Candango apresentaram os menores índices de visibilidade da água (69 cm) e as maiores concentrações de sedimentos em suspensão em ambos os períodos, enquanto os menores valores da CSS e os maiores valores de visibilidade da água ocorreram entre o barramento e o córrego das Araras.

Considerando-se as condições do período de chuva, observa-se que a CSS e a visibilidade da água se comporta de forma integrada. A baixa transparência da água registrada pela profundidade do disco de Secchi em algumas áreas também é identificada pelo aumento da CSS. Casos semelhantes foram constatados por Novo e Braga (1991, 1995) nas amostras de água do reservatório de Barra Bonita, estado de São Paulo.

No reservatório de Cachoeira Dourada, pode-se dizer que as concentrações de sedimentos em suspensão e a visibilidade da água variaram de acordo com a influência das descargas de águas vindas dos rios afluentes, com a intensidade pluviométrica na bacia.

Situação análoga de Cachoeira Dourada foi verificada por Cabral (2001, 2003) em relação ao elevado índice de CSS no reservatório de Barra Bonita. Segundo esse autor, isso está relacionado aos sedimentos das áreas agrícolas próximas ao reservatório, assim como aos dejetos industriais e esgotos domésticos do município de Anhembi, carreado pelo córrego dos Remédios e pelo rio do Peixe.

Quanto à relação existente entre os parâmetros estudados, constatou-se alta correlação entre a CSS e a visibilidade da água em todo o reservatório (Figuras 14 e 15); cujos coeficientes de determinação foram 0,73 e 0,81 nos períodos úmido e seco respectivamente.

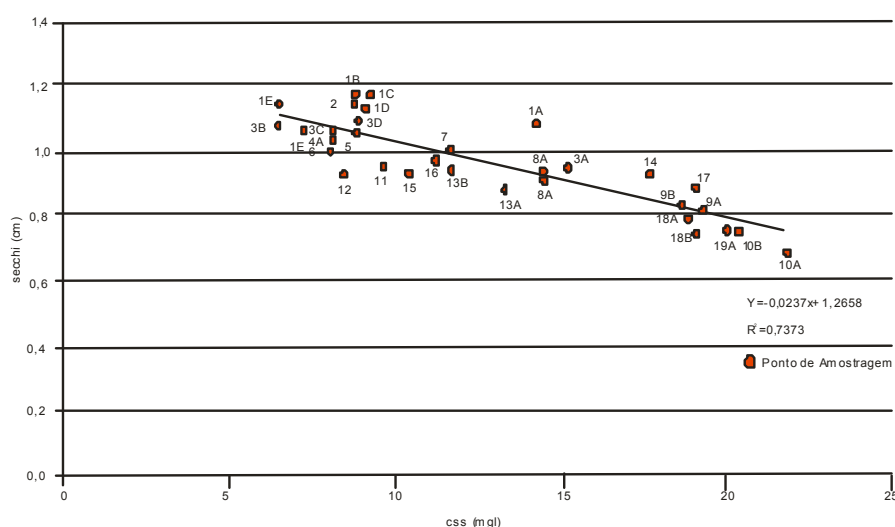


Figura 14 - Correlação entre medidas de visibilidade da água e CSS referente ao período úmido.

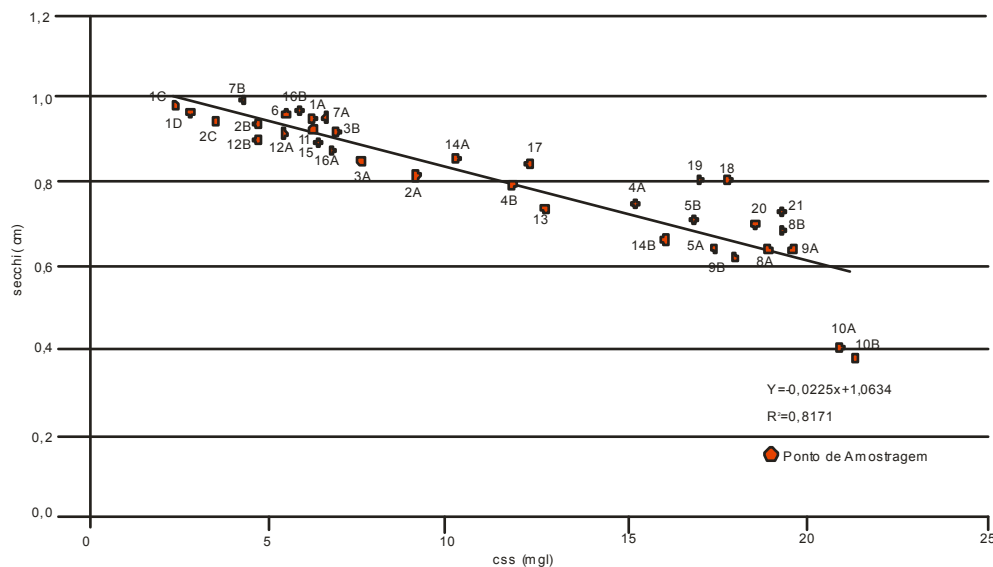


Figura 15 - Correlação entre medidas de visibilidade da água e CSS referente ao período seco.

Entre as variáveis a CSS apresentou maiores variações entre os compartimentos no período chuvoso, cujo coeficiente de variação foi de 53%. Isso define duas situações em relação a esta variável: um conjunto de áreas com concentração inferior a 10 mg/l e outra superior a 15 mg/l. Pereira Filho (2000) obteve coeficiente de variação de 84% para o reservatório de Tucuruí, identificando duas situações em relação a CSS para o período chuvoso ou seja, um conjunto de áreas com concentração inferior a 3 mg/l e outro maior do que 8 mg/l.

De forma geral é possível afirmar que o principal setor de um ecossistema lântico, ocorre entre o barramento e o córrego do Corgão, sofrendo pouca influência dos reservatórios de Itumbiara e Emborcação, que retêm grande parte dos sedimentos de toda a bacia do rio Paranaíba, face estarem a montante. Outro fator que pode ser considerado é que nesse setor do lago encontram-se as maiores seções transversais, as menores velocidades de escoamento da água e a deposição de material pelítico. Com isso, grande parte da água que chega nesse trecho do reservatório de Cachoeira Dourada já passou pelo processo de precipitação do material particulado em suspensão. Assim, tem-se maior disponibilidade de luz neste trecho, refletindo em valores mais elevados para os parâmetros medidos com disco de Secchi e menores para a CSS.

Os menores valores de CSS e SEC para o trecho compreendido entre o córrego do Candango e o córrego dos Patos em relação ao trecho posterior podem ser relacionados ao aumento da seção transversal, à diminuição da velocidade de escoamento e à existência de vários bancos de macrófitas aquáticas. Apresentam-se, assim, indícios de que o material particulado fino proporcionado pelos rejeitos da exploração da areia seja retido neste trecho.

De forma geral os valores da CSS e da visibilidade da água podem ser considerados baixos, face à área em torno do reservatório apresentar declividade de 3 a 8% (CELG, 1984), fazendo com que os aportes de sedimentos até o lago seja em menor escala em relação aos relevos mais íngremes, fato corroborado por Cabral (2001) no reservatório de Barra Bonita. Da mesma forma, ocorre a retenção do material particulado, transportado pela bacia do rio Paranaíba, devido à existência dos reservatórios a montante (Itumbiara e Emborcação).

Os maiores valores da CSS são proporcionais aos índices pluviométricos (Figura 16) ocorridos na bacia em relação ao aporte para a descarga fluvial, exercendo maior influência sobre o reservatório no período úmido. Tal correlação não descarta a possibilidade de que volumes menores com frequência maior não exerçam certa influência, mas contribuem com uma atuação mais discreta.

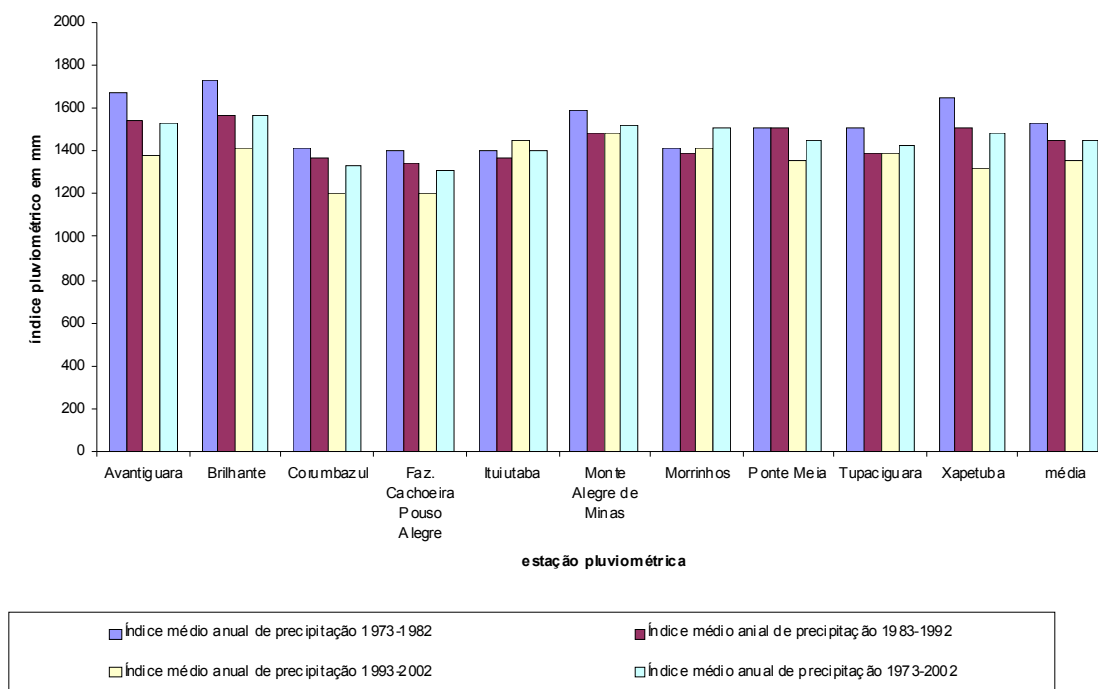


Figura 16 - Valores de precipitação média anual em mm na bacia hidrográfica do reservatório de Cachoeira Dourada.

A identificação de macrófitas aquáticas está relacionada ao grau de eutrofização do lago, cuja presença está associada ao aporte de fertilizantes agrícolas nos solos da bacia hidrográfica. A eutrofização é o crescimento excessivo das plantas aquáticas, tanto plancônicas quanto aderidas, em níveis tais que sejam considerados como causadores de interferências com os usos desejáveis do corpo d'água. O principal fator de estímulo é um nível excessivo de nutrientes na, principalmente nitrogênio e fósforo (Thomann & Mueller, 1987).

Segundo Pereira Filho (2000), as macrófitas aquáticas podem ocorrer em locais de “paliteiros”, denominação dada às árvores mortas devido à inundação que servem de apoio à fixação das plantas aquáticas, podendo influenciar o ecossistema e atenuar a turbulência da água, funcionando como um filtro do material alóctone. Tal situação foi verificada entre os córregos do Candango e do Bálsamo.

Segundo Sperling (1996), a retirada da vegetação natural da bacia para ocupação por agricultura e pecuária representa uma etapa intermediária no processo de deterioração de um corpo d'água. O cultivo mecanizado de lavouras no entorno da área de estudos e a consequente colheita para consumo humano e animal, gera uma depleção de nutrientes causando quebra no ciclo interno dos mesmos e para compensar a retirada e consequentemente tornar a agricultura mais intensiva, são adicionados fertilizantes químicos, ricos em nutrientes como nitrogênio e fósforo.

Outro agravante ambiental é que devido a supressão da vegetação nativa deixando os solos expostos, reduzindo sua capacidade de infiltração, gera um processo de escoamento superficial, cujos sedimentos irão ser depositados no espelho d'água.

Considerações Finais

No contexto geral em que se encontra o reservatório em relação aos segmentos inundados do rio e de acordo com os parâmetros avaliados, existe possivelmente um ecossistema lântico entre o barramento

e o córrego do Paiol, visto que o reservatório localiza-se imediatamente a jusante do reservatório de Itumbiara e de Emborcação. Nesse setor do lago, encontram-se as maiores seções transversais e as menores velocidades de escoamento da água. Por esse motivo, grande parte da água que chega neste setor do reservatório de Cachoeira Dourada já passou pelo processo de deposição do material particulado em suspensão.

A CSS referente aos períodos úmido e seco apresentou o predomínio de valores até 10 mg/l. Todavia na desembocadura dos córregos das Araras e Corgão as concentrações foram superiores a 10 mg/l bem como aquelas entre o córrego do Corgão e Flecha, cujos valores chegaram a 15 mg/l.

Entre os córregos do Paiol e do Candango, localiza-se a principal área de aporte de sedimentos em suspensão, possivelmente oriundo do material erodido da Formação Vale do Rio do Peixe.

Os índices de visibilidade (SEC) da água entre a barragem e o córrego do Corgão apresentaram valores com amplitudes entre 100 - 120 cm e 80 - 100 cm nos períodos úmido e seco respectivamente.

As amostras localizadas na área de influência das águas do ribeirão Piratininga e do córrego do Candango apresentaram os menores índices de visibilidade da água e as maiores concentrações de sedimentos em suspensão em ambos os períodos, enquanto os menores valores da CSS e os maiores valores de visibilidade da água ocorreram entre o barramento e o córrego das Araras.

Referência Bibliográfica

BRAGA, C.Z.F; **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da concentração de clorofila-a, Transparência e profundidade da água na Lagoa de Araruana, RJ.** Rio de Janeiro - RJ. Tese (Doutorado em Geociências, Área de Concentração Geoquímica Ambiental) UFF - Universidade Federal Fluminense. 213p. 1998.

CABRAL, J.B.P. **Utilização de técnicas de segmentação e componente principal de imagens TM, para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita-SP.** Rio Claro - SP. Dissertação (Mestrado em Geociências, Área de Concentração Geociências e Meio Ambiente) UNESP - Universidade Estadual Paulista – Campus de Rio Claro. 94p. 2001.

CABRAL, J.B.P. Utilização de técnicas de segmentação e correlação de Spearman em Imagens TM para o Estudo da concentração de sedimentos em suspensão no reservatório de Barra Bonita – São Paulo-Brasil In: International Review of Geographical Information Science and Technology - **GeoFocus** - ISSN: 1578-5157. N3. 235-267p. 2003.

CABRAL, J. B. P; Becegato, V. A; Lopes, R. M; Scopel, I: Estudo da erosividade e espacialização dos dados com técnicas de geoprocessamento na carta topográfica de Morrinhos-Goiás / Brasil para o período de 1971 a 2000. In: International Review of Geographical Information Science and Technology - **GeoFocus** - ISSN: 1578-5157. N5. 1-18p. 2005.

CABRAL, J. B. P; Fernandes, L.A; Fiori, A.P; Becegato, V. A; Avaliação do assoreamento do reservatório de Cachoeira Dourada (GO/MG). In: **Scripta Nova** (no prelo). 2008.

CARVALHO, N.O. assoreamento de reservatórios – consequências e mitigação dos efeitos. In: IV Encontro Nacional de engenharia de Sedimentos. Santa Maria-RS. Cdrom. 1-22p. 2000.

CARVALHO, N. O; Filizola Jr., Santos, P. M. C; Lima, J. E. F. W. - **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios.** Brasília: ANEEL, 132p. 2000.

CAVENAGHI, A.L. **Caracterização da qualidade de águas e sedimentos relacionados com a ocorrência de plantas aquáticas em cinco reservatórios da bacia do rio Tietê.** Tese (doutorado em agronomia. Programa de Pós-graduação em Ciências Agrônômicas). Universidade Estadual Paulista – Campus Botucatu. 73p. 2003.

CELG – Centrais Elétrica de Goiás - **Usina Hidrelétrica de Cachoeira Dourada** - Etapa IV Estudo de Viabilidade. 450p. 1984.

COELHO, M.P. **Análise do processo de assoreamento do reservatório de Americana – SP.** Dissertação de Mestrado em Geociências e Meio Ambiente. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Estadual Paulista. Campus de Rio Claro. 69p. 1993

- DEKKER, A. G. **Detection of optical water quality parameters for eutrophic waters by high resolution remote sensing**. PhD Thesis - Free University, Amsterdam. 241p. 1993.
- Esteves, F. de A. Fundamentos de limnologia. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 548p. 1988.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeto Radambrasil**. Ministério das Minas e Energia. Secretária geral. Levantamento de Recursos hídricos. Folha SE 22 – Goiânia. V31. Geologia, geomorfologia, pedologia. Rio de Janeiro. 1983.
- KIRK, J.T.O. **Light & photosynthesis in aquatic ecosystems**. London: Cambridge University. Press, 1996.
- LANNA, E. A. *Elementos de estatísticos e probabilidade*. In: **Hidrologia**. Cap 4. Tucci, C.E.M. 79 - 176p. 2000.
- LATRUBESSE, E.M; CARVALHO,T.M; STEVAUX, J.C. **Mapa geomorfológico do estado de Goiás – relatório (no prelo)**. 85p. 2004.
- NOVO, E.M.L.M; BRAGA, C.Z.F. **Relatório do Projeto Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos**. São José dos Campos. 75p. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas espaciais. 1991.
- NOVO, E.M.L.M; BRAGA, C.Z.F. **Segundo Relatório do Projeto Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos**. São José dos Campos. 102p. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 1995.
- PEREIRA FILHO, W. **Influência dos diferentes tipos de uso da terra em bacias hidrográficas sobre sistemas aquáticos da margem esquerda do reservatório de Tucuruí – Pará**. São Paulo. Tese (Doutoramento em Geografia). Universidade de São Paulo. São Paulo, 138p. 2000.
- SCOPEL, I., ASSUNÇÃO,H.F. Erosividade no estado de Goiás. In: XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. II Reunião Latino America de Agrometeorologia. **Anais** – cdrom. Florianópolis - SC, 1-9p, 1999.
- SECTEC - Superintendência de Ciências e Tecnologia de Goiás. **Bacia hidrográfica do Rio Paranaíba**. Capturado em agosto de 2000. Online. Disponível: <http://www.sectec.go.gov.br>. 16 de agosto de 2000.
- SILVA, C.M.S; MAURO, C.A; BARCELOS, J.H; THOMAZIELLO, S.A; MARINHO, V.L.F. Laudos Periciais em intervenções sobre canais de drenagem. In: **Laudos periciais em depredações ambientais**, coordenador: Mauro. C.A. cap 3. 149-180p. 1997.
- SPERLING, M.V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: DESA/UFGM. V1, 243p. 1996.
- VILHENA,R.M; ROIG,H.L;MENESES,P.R **Determinação do assoreamento de reservatório utilizando técnicas de geoprocessamento, o caso do reservatório de Funil – RJ**.IN: XI SBSR (cdrom). Belo Horizonte – MG. P.2649-2651. 2003.
- THOMANN, R. V; MUELLER, J.A. **Principles of Surface Water Quality Modeling and Control**, Harper Collins, Publisher, New York - USA. 493p. 1987.
- WETZEL,R.G; LIKENS,G.E. **Limnological analisys**. 2ed. New York. Springer Verlag. 391p. 1991.

Trabalho enviado em novembro de 2008

Trabalho aceito em agosto de 2009