

# XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

## **MEDIDAS MITIGADORAS DO PROCESSO DE ASSOREAMENTO EM RESERVATÓRIOS HIDRELÉTRICOS: ESTUDO DE CASO NO RESERVATÓRIO DE TRÊS IRMÃOS – SP.**

*Renato Billia de Miranda<sup>1</sup>; Taiana Homobono Gouvêa<sup>2</sup>; Gustavo D’Almeida Scarpinella<sup>3</sup> e  
Frederico Fábio Mauad<sup>4</sup>*

**Resumo** – Os grandes reservatórios brasileiros têm sido empregados para múltiplos usos, além da geração de energia elétrica: lazer, irrigação, criação de peixes, dessedentação animal, abastecimento e transporte. Tal fato coloca-os em posição de destaque e torna-os essenciais e bastante estratégicos para o desenvolvimento econômico de várias regiões, principalmente, em decorrência do crescente consumo hídrico e energético observado atualmente. No entanto, devido a ocupações irregulares do entorno dos reservatórios, expansão de culturas agrícolas e da atividade pecuária, tem havido um aceleração no assoreamento destes corpos hídricos, trazendo complicações de ordem técnica, econômica e ambiental. O presente artigo discute este fato, tomando como estudo de caso o Reservatório de Três Irmãos (SP). São analisados os principais efeitos contribuintes para a questão do assoreamento no local e como este problema ambiental pode ser minimizado.

**Abstract** – The large Brazilian reservoirs have been used for multiple uses beyond power generation, as recreation, irrigation, fish farming, animal watering, supply and transportation. This fact puts them in a prominent position and makes them essential and really strategic for the economic development of various regions, mainly due to growing water and energy consumption currently observed. However, due to the illegal occupation of reservoir’s surroundings, expansion of agriculture and farming, has been observed a water bodies siltation acceleration, it’s causing technical, economic and environmental complications. The main purpose of this paper is to discuss the mentioned fact, taking the Three Brothers Reservoir (SP) as a study case. There were analyzed the main contributing effects for the silting problem, and how this environmental problem can be minimized.

**Palavras-Chave** – Assoreamento; Reservatórios hidrelétricos; Reservatório de Três Irmãos.

---

<sup>1</sup> Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC – USP. Av.Trabalhador São Carlense, 400. CEP: 13566-590 São Carlos, S.P. Brasil. E-mail: renato.miranda@usp.br.

<sup>2</sup> Doutoranda pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC – USP. Av.Trabalhador São Carlense, 400. CEP: 13566-590 São Carlos, S.P. Brasil. E-mail: homobono@sc.usp.br.

<sup>3</sup> Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC – USP. Av.Trabalhador São Carlense, 400. CEP: 13566-590 São Carlos, S.P. Brasil. E-mail: gscarpinella@sc.usp.br.

<sup>4</sup> Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC – USP. Av.Trabalhador São Carlense, 400. CEP: 13566-590 São Carlos, S.P. Brasil. E-mail: maudadffm@sc.usp.br.

## **INTRODUÇÃO**

Os reservatórios são utilizados pelo homem há milhares de anos e, com o passar do tempo, suas funções e usos sofreram significativas alterações. Na sua origem serviam, geralmente, para o atendimento local das necessidades urbanas e rurais. No entanto, atualmente, os reservatórios são projetados e construídos para diversas finalidades (usos múltiplos), tais como: abastecimento, irrigação, navegação, geração de energia, entre outros. Tal modificação no emprego destes corpos hídricos merece destaque e um estudo especial em seu entorno, principalmente devido a problemas como o assoreamento.

No presente artigo é tomado como estudo de caso o Reservatório de Três Irmãos (SP), pertencente à cascata hidrelétrica do Rio Tietê. Tal reservatório apresenta atualmente um assoreamento no seu volume útil de aproximadamente 14,5% (FIPAI, 2009) e tem seu entorno composto, sobretudo, por atividades de pecuária e cultivo da cana-de-açúcar.

A mitigação de seu assoreamento, assim como em outros reservatórios hidrelétricos do país, é uma questão estratégica, uma vez que o Brasil (assim como o Canadá, Suécia e Noruega) apresenta um grande potencial de seus rios para o aproveitamento na geração de energia elétrica (hidroeletricidade).

A adoção de medidas mitigadoras do processo de assoreamento se apresenta como importante ferramenta para, entre outros fatores, melhorar a gestão e operação dos reservatórios, com relação aos recursos hídricos e a geração hidrelétrica no País.

## **OBJETIVOS**

Discutir o assoreamento em reservatórios hidrelétricos com enfoque no Reservatório de Três Irmãos (SP) e itemizar algumas medidas que poderiam ser adotadas para mitigação deste problema.

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **Reservatórios**

Os reservatórios podem ser utilizados para diversas finalidades, incluindo geração de energia elétrica, irrigação, reserva de água potável, produção de biomassa (cultivo de peixes e pesca intensiva), transporte (hidrovias), recreação e turismo.

Segundo Menescal *et al.* (2009), o Brasil possui 23.037 reservatórios, com área superior a 20 hectares, sendo que 6.929 são reservatórios artificiais e 16.108 são naturais. O Estado de São Paulo, onde se encontra o Reservatório de Três Irmãos, que será adotado para discussão no presente artigo, apresenta um total de 370 reservatórios, sendo que 214 são artificiais e 156 naturais.

O principal objetivo ao se implantar um reservatório, como descreve a AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (2007), é o de:

“[...] elevação dos níveis d’água naturais e o aumento da garantia de suprimento de água para os diversos usos, como abastecimento público, irrigação, navegação e geração de energia hidrelétrica. A formação dos reservatórios é obtida pela construção de barragens em rios, que possibilitam a acumulação dos volumes de águas afluentes e a elevação dos níveis de água” (ANA, 2007).

De uma forma geral, a construção de reservatórios gera uma série de impactos positivos e negativos. Dentre os impactos negativos, Rebouças *et al.* (1999) citam:

- interferência no transporte de sedimentos no corpo hídrico;
- inundação de áreas agricultáveis;
- perdas de heranças históricas e culturais, alterações em atividades econômicas e usos tradicionais da terra;
- efeitos sociais por realocação da população local;
- perda e/ou alteração de vegetação, da biodiversidade e da fauna terrestre e aquática; e
- mudanças hidrológicas a jusante da represa.

Há também os efeitos positivos, que os mesmos autores destacam:

- geração de energia;
- retenção de água regionalmente;
- criação de possibilidades de recreação e turismo e ampliação do potencial de irrigação;
- aumento e melhoria da navegação e transporte; e
- regulação do fluxo e inundações.

## **Erosão, transporte e deposição de sedimentos**

A sedimentologia é a disciplina que estuda os sedimentos, sendo constituída por três fases distintas: a erosão, o transporte e o depósito de sedimentos. No presente estudo, a etapa da deposição de sedimentos (assoreamento) será abordada com maior detalhamento.

Segundo Salomão (1991), os processos erosivos podem ser classificados em: erosão natural e antrópica. O primeiro grupo é o resultado das influências dos agentes naturais que atuam na degradação dos solos e o segundo grupo é a consequência das intervenções humanas sobre o meio físico (desmatamento, agricultura, atividades mineradoras e expansão urbana desordenada, entre outros).

Apesar de serem fenômenos naturais do ciclo hidrogeológico terrestre, alguns processos erosivos têm sido intensificados pelo Homem. Rocha (1997) enfatiza que a destruição do meio ambiente deve-se, principalmente, ao mau uso da agricultura e pecuária, fato este que acarreta na deterioração física, social, econômica e ambiental das bacias hidrográficas do Brasil.

Da mesma forma, Carvalho *et al.* (2000a, p. 6-7) afirmam que:

“Atividades humanas introduzem uma profunda influência na erosão. Sob determinadas circunstâncias, as taxas de erosão são 100 vezes maiores, com a interferência humana, do que seriam apenas considerando-se em termos geológicos.” (CARVALHO *et al.*, 2000a, p. 6-7).

Muller (1995) ressalta que a erosão é um problema de duas faces: a primeira deve-se ao fato da mesma dilapidar camadas férteis de solos, prejudicando terrenos utilizados para agricultura; e a segunda quanto à deposição dos materiais erodidos em leitos de rios e reservatórios interferindo nas funções e utilizações dos mesmos.

Segundo Pimentel *et al.* (1992 *apud* Pimentel *et al.*, 1997), cerca de 99% da oferta de alimento vem da terra, associada à água doce. Por conta deste número, a erosão provocada pela água da chuva e o vento são ameaças à produtividade do solo e, conseqüentemente, à sociedade. Aproximadamente 80% da área de solo agricultável do mundo sofre de moderado a severo processo de erosão. E 10% apresenta de leve a moderada erosão do solo Speth (1994 *apud* Pimentel *et al.*, 1997).

A perda de solo (através do processo erosivo) e água (por consequência da menor infiltração e maior escoamento superficial) tem causado, no mundo, um prejuízo anual de aproximadamente US\$ 400 bilhões. No Brasil, de acordo com a Agência Nacional de Águas – ANA (2009), estima-se que a perda de nutrientes carregados por erosão traga um prejuízo de R\$ 7,9 bilhões/ano. Se, somado a isso, forem contabilizados “o efeito da erosão na depreciação da terra e outros custos tais como conservação de estradas, tratamentos de água e redução da vida útil de reservatórios”, este prejuízo saltaria para R\$ 13,3 bilhões/ano.

Zoccal (2007) estima que 80% da área cultivada do Estado de São Paulo esteja sofrendo algum processo erosivo, causando uma perda de 200 milhões de toneladas de solo, anualmente.

Hernani *et al.* (2002), citado por Ahrens (2005), relatou que no início da década de 90, perdia-se no Brasil, anualmente, em média, 600 milhões de toneladas de solo por conta do mau uso e de erosões. Deste montante, 70% chega, na forma de sedimentos, nos mananciais e corpos d'água, causando assoreamento e poluição.

A segunda etapa do processo de sedimentação é o transporte dos sedimentos. Assim como a questão da erosão, o estudo do transporte dos sedimentos também é muito importante para a caracterização da bacia hidrográfica, quantificação dos impactos causados pelas ações antrópicas na região e para a estimativa do assoreamento dos corpos hídricos.

Como ressaltado em diversos estudos, entre eles Carvalho (2008), o transporte de sedimentos depende de diversos fatores como: a forma, o tamanho e o peso do sedimento e as forças exercidas pela ação de escoamento. Além destes fatores, o tipo, a cobertura e o uso do solo; a topografia e a formação geológica do terreno, e a quantidade e intensidade das chuvas são outros fatores que influenciam no transporte dos sedimentos.

Todos os cursos d'água apresentam a propriedade inerente de transportar sedimentos (partículas de rochas, solos e de matéria orgânica), seja em suspensão, arraste, saltação, rolamento/escorregamento ou por combinação destas maneiras (Branco e Rocha, 1977; Muller, 1995; Suguio e Bigarella, 1979).

Esses diversos meios de transportes devem-se ao fato de que os sedimentos que chegam até os cursos d'água são de diferentes tipos e características. Geralmente, os sedimentos com maior granulometria movimentam-se como carga de fundo em corpos hídricos, enquanto as partículas mais finas são transportadas em suspensão na coluna d'água (Nagle *et al.*, 1999).

A quantidade de sedimentos transportada varia a cada curso d'água. Carvalho (2008) e Muller (1995) citam que os corpos hídricos têm a capacidade de transportar uma determinada quantidade máxima de sedimentos, que é conhecido como valor de saturação. Ainda segundo estes autores, quando o valor de saturação é maior que a quantidade de sedimento transportado (saturação), há formação de depósito nos corpos hídricos – canais, lagos, rios e reservatórios – e quando este valor é menor (insaturação), há uma tendência a processos erosivos nas margens e leitos dos corpos hídricos.

O assoreamento dos corpos hídricos e reservatórios é a última etapa do processo de sedimentação, que tem início com a produção dos sedimentos e seu consequente transporte.

Diversos estudos, nacionais e internacionais, apresentam os problemas decorrentes do assoreamento. Dentre estes estudos, cabe destacar Carvalho (2008), Muller (1995) e *ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY* (1976) os quais citam que o assoreamento tem como principais consequências:

- Redução do volume de água armazenado no reservatório;
- Obstrução de canais de irrigação, navegação e trechos de cursos d' água;
- Afogamento de locais de desovas, alimentação e abrigo de peixes;
- Formação de bancos de areia dificultando e alterando rotas de navegação;
- Dificuldade ou impedimento da entrada de água em estruturas hidráulicas de sistemas de captação;
- Degradação da qualidade da água para consumo e consequente aumento dos custos de tratamento; e
- Alteração, destruição e degradação de ecossistemas aquáticos.

O assoreamento não apresenta problemas somente a montante da barragem, mas também a jusante, pois a água escoada tende a erodir as margens e os leitos do canal de escoamento, devido ao fato de possuir uma carga sólida geralmente menor do que o valor de saturação (Carvalho, 2008).

Pode-se verificar pela literatura que são vários os fatores locais que influenciam no processo de sedimentação, principalmente quanto à produção e distribuição dos sedimentos nos reservatórios, como: clima, pluviometria, hidrologia, formação geológica, topografia, cobertura vegetal, tipo e uso do solo, composição química das águas e dos sedimentos, entre outros.

A distribuição dos sedimentos em reservatório não é uniforme (Mahmood, 1987; Carvalho *et al.*, 2000b) e pode dar origem, basicamente, a três tipos de depósitos: depósito de remanso (*Backwater deposit*), delta (*delta*) e depósito de fundo (*Bottom-set deposit*) (Vanoni, 1977; Carvalho, 2008). A Figura 1 apresenta a localização destes depósitos e os principais problemas ocasionados por eles.

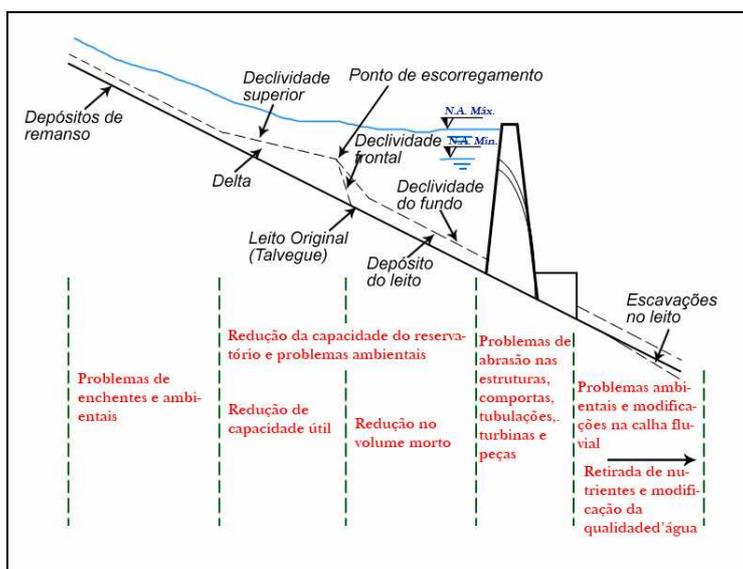


Figura 1 – Formação de depósitos de sedimentos nos reservatórios e seus principais problemas.

Fonte: Carvalho (2008).

Assim, o assoreamento de reservatórios tem provocado diversos problemas econômicos, sociais e ambientais. E conforme Morris e Fan (1997) afirmam, com o passar do tempo, os problemas com o assoreamento se tornam mais severos e mais difíceis de serem controlados.

### **Medidas mitigadoras do processo de assoreamento em reservatórios**

Para evitar ou amenizar alguns problemas destacados anteriormente, torna-se necessária a adoção de medidas preventivas e corretivas contra o processo de assoreamento de reservatórios.

Como pôde ser verificado, o assoreamento de reservatório proporciona problemas em diversas áreas, causando, em alguns casos, grandes custos ou até mesmo consequências irreversíveis às obras hidráulicas. Porém, apesar do assoreamento ser um processo inevitável, pode-se minimizar grande parte dos problemas causados pela deposição de sedimento.

Conforme Poçano *et al.* (1981) apresentam, as medidas preventivas e corretivas requerem estudos específicos que considerem a dinâmica dos sedimentos desde suas áreas fontes até os locais de deposição.

As medidas preventivas são empregadas para evitar a produção dos sedimentos e que os mesmos cheguem até os cursos d'água evitando a formação dos depósitos de sedimentos nos reservatórios. Já as medidas corretivas têm como objetivo amenizar os efeitos causados pelo sedimento quando estes já estão depositados no reservatório.

Conforme Carvalho (2008) cita, as medidas preventivas são mais eficazes e econômicas do que as medidas corretivas que são utilizadas para amenizar prejuízos materiais e financeiros ocasionados pelos depósitos de sedimentos.

Apesar das medidas preventivas contemplarem inúmeras alternativas para prevenção e mitigação dos depósitos de sedimentos, em diversos países (dentre eles o Brasil) são raros os projetos que apresentam bons estudos e ações preventivas para este problema.

Um das principais medidas preventivas quando se trata do assoreamento de reservatórios é o estudo e a seleção do melhor local para construção da barragem, pois a sua construção tem grande influência na taxa de assoreamento. Desse modo, devem-se privilegiar locais com menores índices de produção de sedimentos.

Essa questão merece atenção principalmente com relação às novas e polêmicas usinas que estão sendo construídas no Rio Madeira (RO) – UHE Jirau e UHE Santo Antônio. O Rio Madeira apresenta altas concentrações de sedimentos em suspensão e devido às características da bacia hidrográfica onde se localiza, qualquer empreendimento construído neste rio exige grande

quantidade de estudos para avaliar qual será sua influência no transporte de sedimentos neste curso d'água.

O volume do reservatório destinado aos sedimentos e os seus locais de deposição também são importantes medidas preventivas que devem ser destacadas, pois com o estudo e a construção de locais maiores para deposição de sedimentos, pode-se postergar o início de alguns problemas causados pelos mesmos.

Outra medida preventiva que merece destaque é o controle das fontes de produção de sedimentos, ou seja, o controle da erosão da bacia hidrográfica onde o curso d'água está inserido. Neste ponto, o uso e a ocupação do solo estão intimamente relacionados aos processos erosivos, sendo exigidas ações de ordem técnica, social, financeira e política para o entendimento e controle deste processo.

Apesar da legislação ambiental vigente atualmente, como o Código Florestal – Lei Federal nº 4.771 (BRASIL, 1965), estabelecer a manutenção de áreas protegidas com a função de preservar os recursos hídricos, o meio ambiente local, e a biodiversidade, entre outros, é possível observar que o uso e a ocupação dos solos próximos aos reservatórios, na maioria das vezes, são destinados à práticas inadequadas como agricultura e pecuária. Estas ações, geralmente favorecem os processos erosivos e intensificam a deposição de sedimentos no reservatório, prejudicando a vida útil e operação dos mesmos.

Além da falta de cumprimento da legislação vigente, algumas situações demonstram que a proteção dos recursos hídricos e do meio ambiente podem estar ainda mais comprometidas. A proposta de alteração do Código Florestal que vêm sendo discutidas atualmente reduzem significativamente as áreas de preservação das margens dos cursos d'água, modificam as regras da reserva legal (porcentagem de área que deve ser preservada dentro de toda propriedade rural) e isentam proprietários que realizaram desmatamentos até junho de 2008, entre outros. Estas alterações, se aprovadas, causarão significativos impactos na preservação dos recursos hídricos, na conservação da fauna e flora local e nos solos das bacias hidrográficas.

Paiva *et al.* (2001) citam que o estudo e a compreensão dos processos de erosão do solo e a quantificação das suas perdas, são de grande importância para a elaboração de medidas que visem minimizar os efeitos negativos decorrentes da produção dos sedimentos.

O controle da erosão pode ser realizado a partir da adoção de práticas conservacionistas em áreas agrícolas como: a cultura em faixa, o controle de voçorocas, os sistemas de preparo e a rotação de culturas, entre outros.

Chow (*in* Gottschalk, 1964), menciona que as medidas para proteção, tratamento e conservação dos solos da bacia hidrográfica apresentam-se como as melhores alternativas econômicas para a diminuição das taxas de erosão.

Muller (1995) também enfatiza que o controle da erosão da bacia hidrográfica é a medida preventiva mais eficiente para reduzir o assoreamento. Porém, o autor destaca dois fatores que dificultam a implementação destas medidas, principalmente quando relacionados aos reservatórios hidrelétricos: os resultados ambientais e energéticos são obtidos a médio e longo prazo e as terras ao redor do reservatório, na maioria das vezes, não serem de propriedade das concessionárias de energia.

De acordo com Primavesi *et al.* (2007), a ampliação da fronteira agrícola em regiões tropicais, além das práticas agrícolas convencionais, constituem uma regressão ecológica, trazendo diversas complicações que afetam a qualidade e a quantidade de água em uma bacia hidrográfica.

Guerra (1994) destaca que a cobertura vegetal dos solos é uma das ações mais importantes na proteção dos mesmos contra os processos erosivos, pois reduz os impactos das gotas de chuva sobre o terreno, além de proporcionar uma maior estabilidade aos solos.

Neste sentido, a manutenção das florestas, o reflorestamento, a conservação e a reconstituição de matas ciliares nas margens dos reservatórios, destacam-se como importantes ações preventivas a produção, o transporte e ao depósito de sedimentos.

Blackwelder (*in* Goldsmith e Hildyard, 1984) destaca a importância do reflorestamento das áreas de drenagem dos rios represados. Segundo o pesquisador, este reflorestamento deve ser realizado com espécies nativas da região, como forma de reconstituir, tanto quanto possível, as florestas nativas originais que existiam antes do represamento das águas.

Campos e Landgraf (2001) citam que a presença de mata nativa ao longo dos cursos d'água é importante, pois servem como barreira para o escoamento da água das enxurradas e acarretam em uma diminuição da velocidade destas correntes d'água, possibilitando que as águas sejam aproveitadas pelas plantas locais e aquíferos subterrâneos, e contribuindo, conseqüentemente, para evitar o transporte de sedimento aos cursos d'água.

A reconstituição de mata ciliar ao redor dos reservatórios vem recebendo uma atenção especial das empresas relacionadas ao setor de geração de energia, principalmente devido aos problemas que o assoreamento tem causado para as usinas hidrelétricas.

Muitas empresas concessionárias de energia vêm percebendo que, a partir de iniciativas voltadas ao meio ambiente, elas conseguem uma melhor eficiência energética e que seus gastos com programas ambientais são relativamente baixos quando comparados aos custos decorrentes de problemas ambientais como o assoreamento.

Além destes fatos, as concessionárias perceberam que a recuperação das áreas do entorno dos seus reservatórios também podem render lucros com a comercialização de créditos de carbono dentro do Protocolo de Quioto, por meio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Este mecanismo aceita que países desenvolvidos continuem com suas emissões de gases de efeito estufa desde que adquiram o “direito de emissão”. Este “direito” pode ser obtido por meio de apoio a projetos, realizados em países em desenvolvimento, que absorvam o carbono atmosférico, como é o caso da reconstituição das matas ciliares em reservatórios hidrelétricos (Scarpinella e Mauad, 2010).

Outras medidas preventivas que merecem destaque são as construções de estruturas para contenção dos sedimentos, que evitam que os mesmos cheguem aos corpos hídricos, como: pequenas barragens a montante, bacias de decantação e condutos para desvio de sedimentos (*sediment bypassing*).

As medidas corretivas são adotadas quando os depósitos de sedimentos influenciam ou comprometem a operação ou função dos reservatórios, ou as estruturas e as obras hidráulicas. Segundo o *INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS – ICOLD* (1989), estas medidas visam remediar os problemas causados pelos sedimentos quando estes afetam a vida útil do empreendimento.

Assim, as medidas corretivas visam minimizar os efeitos causados pelo assoreamento, com a remoção de sedimentos por meio de descarregadores de fundo, dragagem de sedimentos, alteamento da barragem, entre outros.

A retirada de sedimentos pode ser realizada por estruturas hidráulicas, como a descarga ou comporta de fundo, que são importantes ferramentas adotadas para reduzir a quantidade de sedimento depositado.

Yoon (1992) cita que a remoção de sedimentos por escoamento através dos descarregadores de fundo pode ser classificada em: *sluicing* e *flushing*. De acordo com o autor, o primeiro método, que consiste na liberação do sedimento antes que eles se depositem, tem sido bastante empregado nos reservatórios da China, mostrando ser um eficiente meio para controle de assoreamento. Já o *flushing* consiste na remoção dos sedimentos que já foram depositados e pode ser empregado com ou sem rebaixamento do nível d’água do reservatório.

Muitos autores defendem a manutenção do fluxo de sedimento para jusante através da sua transposição, justificando que esta preocupação deveria ser comparada com a manutenção da descarga hídrica efluente que é utilizada para não comprometer as atividades desenvolvidas a jusante da barragem.

Porém, cabe destacar que o uso dos descarregadores de fundo não é aconselhável para todos os tipos de reservatórios, pois sua utilização demanda uma grande quantidade de água que é escoada

junto com os sedimentos. Além disso, a utilização destes descarregadores exige estudos quanto à localização destas estruturas e a quantidade de sedimento que será liberada para não causar problemas ambientais a jusante conforme apresentado na Resolução do CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004 (BRASIL, 2004).

Outra medida corretiva que pode ser adotada é a dragagem de sedimentos. Esta medida consiste na remoção dos sedimentos depositados por meios mecânicos. A dragagem geralmente é utilizada em situações extremas, por exemplo, quando os sedimentos estão alcançando a tomada d'água das centrais hidrelétricas. Esta técnica tem como vantagem a possível utilização dos materiais que são dragados, principalmente areia, para obras na construção civil, o que pode proporcionar redução nos custos deste processo com a venda destes materiais. Cabe destacar, no entanto, que a comercialização do material dragado está sujeita a análise e tratamento do material coletado e ao fim que os mesmos se destinam.

No entanto, é importante salientar que a dragagem também apresenta algumas desvantagens, como: exigir o uso de energia externa para remoção dos sedimentos, demandar elevada quantidade de água e alto custo para realização.

Raudkivi (1993) cita que a demanda de água exigida em alguns processos de dragagem pode atingir uma razão de 4:1 de água em relação ao sedimento, fato este que torna a dragagem uma alternativa inviável para alguns reservatórios. Quanto ao custo para realização da dragagem, Carvalho (2008) cita que pode variar de US\$ 1,00 a US\$ 15,00 por m<sup>3</sup> dragado, pois depende da situação do local, da localização dos sedimentos e do destino do material dragado, entre outros.

Reformas nas estruturas hidráulicas e barragem também são alternativas utilizadas para amenizar os efeitos do assoreamento nos reservatórios. Como exemplo destas medidas pode-se citar a realocação de estruturas, como a tomada de água de centrais hidrelétricas, que pode ser uma opção interessante em casos onde os sedimentos já estão próximos de alcançar estas estruturas (Maia e Villela, 2006).

O alteamento (elevação) da barragem também pode ser adotado como forma de recuperação do volume de água perdido pelos depósitos de sedimentos. Porém, cabe ressaltar que esta reforma exige maiores custos e estudos detalhados, sendo indicado apenas quando for possível aumentar a área do reservatório com reduzidos custos de desapropriação de terrenos e impactos sociais e ambientais (Carvalho, 2008).

Em suma, conforme Shen e Lai (1996) afirmam, o assoreamento pode ser reduzido ou controlado por meio de três medidas básicas: redução da quantidade de sedimentos que entram no reservatório através dos processos erosivos da bacia; remoção dos sedimentos, por ações mecânicas

(como a dragagem) e; escoamento dos sedimentos que chegam ao reservatório por estruturas hidráulicas como a descarga de fundo.

Carvalho (*in* BRASIL, 1984) também resume os métodos de controle de sedimentação em reservatórios, em seis classes distintas: seleção do local, projeto do reservatório, controle de sedimentos afluentes, controle da deposição de sedimentos, remoção dos depósitos e controle de erosão da bacia.

Portanto, como é possível observar, as medidas preventivas e corretivas para o controle do assoreamento podem ser adotadas desde o projeto do reservatório até a sua operação, sendo que a escolha, aplicação e avaliação dos resultados obtidos através da implantação de cada uma destas medidas, dependem de um completo entendimento dos processos de sedimentação.

## ÁREA DE ESTUDO

O Reservatório da Usina Hidrelétrica de Três Irmãos está localizado na Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê (Figura 2), a noroeste do Estado de São Paulo, e corresponde à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos nº 19 (UGRHI-19).

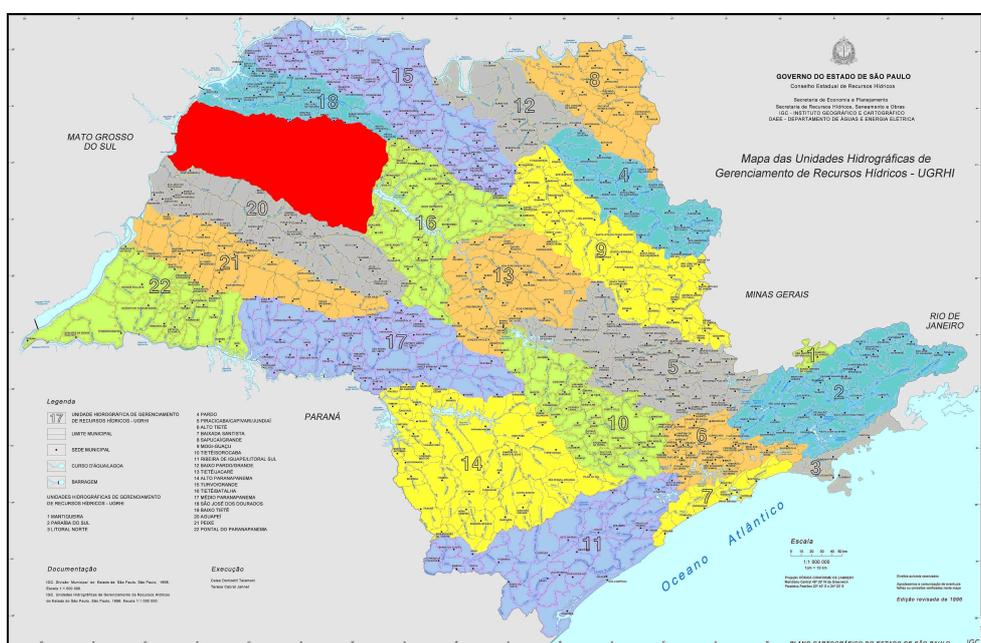


Figura 2 – Mapa das unidades hidrográficas de gerenciamento de recursos hídricos, com destaque para a UGRHI nº 19, onde o Reservatório de Três Irmãos está localizado.

Fonte: Adaptada de SIGRH (2011).

A bacia hidrográfica do Baixo Tietê possui uma área de 15.471,81 km<sup>2</sup> e é formada por 42 municípios que têm perfil predominantemente agropecuário. Sua população, estimada pelo

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE em 2009, é de 778.936 habitantes. Os principais cursos d'água desta UGRHI são os rios Tietê e Paraná e seus afluentes.

A intensificação da ocupação da região desta UGRHI teve início no auge da expansão cafeeira (final do século XIX) motivada pela busca de terras férteis para o plantio de café. Com a “crise do café” e exaustão das terras para plantio, a cafeicultura atravessou as fronteiras do Paraná e surgiram novas atividades na região, como a sericultura, cotonicultura e a pecuária, que ainda é uma das principais atividades econômicas da região.

A partir da década de 70, com a implantação do Programa Nacional do Alcool (PROÁLCOOL), a pecuária começou a perder espaço para o plantio de cana-de-açúcar que foi impulsionada pela implantação de várias usinas de açúcar e álcool na região. Atualmente, a economia da UGRHI-19 é baseada em atividades agropecuárias e em indústrias dos setores frigorífico, calçadista e sucro-alcooleira, esta última merecendo especial destaque pelo grande avanço nestes últimos anos.

As mudanças no uso e ocupação do solo da região da UGRHI-19, conforme apresentado anteriormente, ocasionam impacto direto nos recursos hídricos, como o aumento da demanda de água, principalmente para as atividades agropecuárias.

Entre os usos e as atividades desenvolvidas na bacia em questão, cabe destacar, além da geração de energia elétrica, a aquicultura, a recreação e a navegação. Todo o trecho do Rio Tietê compreendido pela UGRHI-19 é navegável, através das eclusas de Promissão, Nova Avanhandava e Três Irmãos, além do Canal de Pereira Barreto que liga os reservatórios de Ilha Solteira e Três Irmãos e possibilita o transporte de produtos agrícolas e minerais, entre outros.

Os solos predominantes na região desta bacia hidrográfica são: Podzólico, Latossolo Vermelho Escuro e Latossolo Roxo. Com relação à erosão, cerca de 70% da área total da bacia correspondem a áreas com alto grau de potencialidade à erosão, 25% a áreas com médio grau e 5% a áreas com baixo grau (CENTRO TECNOLÓGICO DA FUNDAÇÃO PAULISTA DE TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO – CETEC, 2008).

A Bacia do Baixo Tietê apresenta um acelerado processo de degradação devido aos processos erosivos. O Comitê da Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê (CBH-BT) propôs três níveis de classificação de degradação e os resultados mostraram que das 33 sub-bacias que constituem o Baixo Tietê, 20 estão classificadas como “Muito degradadas” (66,6%), 10 são “Degradadas” (30,3%) e apenas 3 são consideradas “Pouco Degradadas” (CETEC, 2008).

O Reservatório da UHE de Três Irmãos está localizado entre os municípios de Andradina e Pereira Barreto, a 28 km da confluência do Rio Tietê com o Rio Paraná e possui aproximadamente 150 km de extensão, sendo o sexto barramento do Rio Tietê. O reservatório possui uma área de 785

km<sup>2</sup> e sua barragem tem comprimento de 3640 metros. O reservatório da usina é de acumulação e serve para regularização de vazão e contenção de cheias (COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO – CESP, 2011).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apesar do assoreamento ser um processo inevitável, é possível minimizar grande parte dos problemas causados pelos sedimentos nos cursos d'água a partir da adoção de medidas preventivas e corretivas. A escolha da melhor política de controle do assoreamento exige estudos específicos sobre a dinâmica dos sedimentos desde as suas áreas fontes até os seus locais de deposição.

No caso do local de estudo deste trabalho (Reservatório de Três Irmãos), pôde-se observar que os principais fatores que influenciam na deposição de sedimento do reservatório, devem-se aos processos erosivos do seu entorno.

Esse fato pode ser justificado, pois o Reservatório de Três Irmãos apresenta em suas margens grandes áreas com cultivo de cana-de-açúcar (Figura 3) e presença de pastagens e gado (Figura 4). A prática destas ações próximas ao reservatório ressalta a importância de estudos sedimentológicos neste corpo hídrico, pois estas atividades intensificam os processos erosivos na bacia hidrográfica e consequente geração, transporte e depósito de sedimentos no mesmo.



Figura 3 – Cultivo de cana-de-açúcar próximo às margens do Reservatório de Três Irmãos.

Fonte: FIPAI (2009).



Figura 4 – Presença de pastagem e gado nas margens do Reservatório de Três Irmãos.

Fonte: FIPAI (2009).

No caso do reservatório em questão, verifica-se que a presença de atividades pecuárias propicia problemas de erosão nas áreas próximas ao mesmo, principalmente devido à criação de caminhos gerados pelo pisoteamento do gado.

As atividades agrícolas no entorno do reservatório são muito prejudiciais, principalmente nos intervalos entre um plantio e outro. Isto acontece porque no intervalo entre a colheita e a plantação de novas safras o solo fica desnudo intensificando a produção e o transporte dos sedimentos principalmente em períodos chuvosos. Este fato ocorre no Reservatório de Três Irmãos que apresenta grandes áreas próximas às suas margens com solos expostos devido aos períodos de colheita e plantação de novas safras de cana-de-açúcar.

O transporte dos sedimentos para os corpos d'água, além de causar o assoreamento do reservatório também interfere nas atividades agrícolas, pois os materiais carregados pelas chuvas ou vento contêm nutrientes que são retirados do solo e tornam os mesmos mais pobres para o plantio.

A presença de nutrientes (sais, metais e outros compostos nitrogenados), além de causar degradação da qualidade da água, também pode causar eutrofização do meio aquático, acarretando no aumento do crescimento de algas e macrófitas que provocam grandes problemas para as turbinas das usinas hidrelétricas.

A partir da observação destas atividades próximas ao reservatório, conclui-se que a principal ação preventiva que poderia ser adotada para a redução da sua taxa de assoreamento, seria controlar as fontes de produção de sedimentos da bacia hidrográfica, uma vez que a deposição dos sedimentos é a última fase de um processo que se inicia na erosão da bacia.

Conforme citado anteriormente, por Carvalho (2008), Paiva *et al.* (2001) e Muller (1995), entre outros, as medidas preventivas são mais eficazes do que as medidas corretivas (tanto em questões técnicas quanto financeiras) e deveriam ser adotadas com mais frequência para minimizar os problemas de deposição de sedimento.

Neste sentido, a reconstituição e a conservação de matas ciliares nas margens do reservatório se destacam como uma das principais ações preventivas que poderiam ser adotada para reduzir a produção de sedimentos no Reservatório de Três Irmãos. Desse modo, seria recomendado que houvesse um reforço nas políticas de produção de mudas de árvores e dos programas de reflorestamento do reservatório por parte da concessionária, responsável por tais ações.

De acordo com a CESP (2011), que é a empresa concessionária do Reservatório de Três Irmãos (além dos reservatórios de Jupia, Paraibuna-Paraitinga, Porto Primavera e Ilha Solteira), as ações que esta empresa realiza para mitigar o assoreamento de seus reservatórios são as seguintes: possui 3 viveiros de mudas com uma produção de 4.000.000 de unidades/ano para o Programa “Manejo da flora e reflorestamento”; realiza coleta de sementes; desenvolve o reflorestamento ciliar de seus reservatórios e de seus afluentes; recompõe a vegetação das áreas degradadas em canteiros de obras das usinas e; realiza a conservação genética das espécies arbóreas.

Com relação à preservação do entorno dos reservatórios é importante mencionar a Resolução CONAMA nº 302 de 2002 (BRASIL, 2002), que apresenta o conceito de Área de Preservação Permanente (APP) como sendo:

“[...] área marginal ao redor do reservatório artificial e suas ilhas, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas” (BRASIL, 2002).

Ainda segundo esta resolução, as dimensões mínimas da APP em relação aos reservatórios artificiais são as seguintes:

- com área inferior a 10 hectares: 15 metros; e
- com área superior a 10 hectares: 30 metros em trechos do reservatório onde a área urbana seja consolidada e 100 metros para os trechos de área rural.

Outra ação que poderia ser adotada na região do reservatório seria a intensificação de palestras e cursos voltados à comunidade local sobre educação ambiental e práticas conservacionistas do solo.

Essas ações possibilitariam uma maior conscientização e instrução da população local, uma vez que a implantação de medidas preventivas contra o assoreamento é dificultada pelo fato dos resultados originados pelas melhorias serem obtidos a médio e longo prazo. Isto é comprovado em grande parte pelos programas de reflorestamento propostos pelas concessionárias de energia, que muitas vezes não são bem sucedidos devido à baixa adesão da população e dos proprietários locais (algumas vezes por ignorância de não conhecerem diretamente os problemas do assoreamento e muitas outras por própria omissão).

Outro fato que merece ser destacado é a necessidade de políticas públicas mais eficientes para inspeção e penalização de proprietários de terras, próximas às margens dos cursos d'água, que não atendam às normas vigentes, principalmente quanto à conservação das matas ciliares e ocupações irregulares do entorno do reservatório.

Além das medidas preventivas, citadas anteriormente, também poderiam ser adotadas outras ações para que os sedimentos gerados não alcancem o reservatório, como a instalação de pequenas barragens a montante, bacias de decantação e condutos de desvio de sedimentos, entre outros.

No âmbito das medidas corretivas para o controle do assoreamento e a minimização dos seus efeitos no reservatório, poderiam ser adotadas ações para remoção dos sedimentos em alguns trechos do mesmo.

A escolha e a quantidade de material sólido que poderiam ser retiradas do reservatório dependem de estudos técnicos e econômicos para a obtenção da melhor relação entre as eventuais melhorias que seriam propiciadas pela remoção dos sedimentos e seus eventuais custos (questão custo-benefício).

Nesse sentido, os levantamentos batimétricos possibilitam a localização dos trechos mais comprometidos ou que apresentem resultados mais interessantes para remoção dos sedimentos.

Um dos estudos realizados no reservatório em questão é o Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento “Estudos do assoreamento do reservatório formado pela barragem da UHE Três Irmãos” (FIPAI, 2009), que apresenta como um dos seus principais resultados as áreas com maior incidência de depósitos de sedimentos deste reservatório.

A dragagem dos sedimentos, além de possibilitar um aumento na capacidade de armazenamento do reservatório, também seria uma alternativa interessante para remoção dos sedimentos que comprometem ou poderão comprometer futuramente as estruturas hidráulicas da usina e afetar a segurança do reservatório.

Apesar desta técnica apresentar algumas desvantagens, conforme visto anteriormente, esta tecnologia apresenta como vantagem, a possível utilização dos materiais dragados no reservatório para o uso em obras da construção civil. Desse modo, parte dos materiais dragados (como areia e

argila) poderia ser tratada e comercializada e ter seus ganhos utilizados para redução de parte dos custos totais do processo de dragagem de sedimento do reservatório.

Nesse sentido, o assoreamento do Reservatório de Três Irmãos e os seus eventuais problemas poderiam ser reduzidos por meio de duas medidas básicas: a intensificação das políticas de controle dos processos erosivos da bacia hidrográfica onde se encontra o reservatório e a remoção de parte dos sedimentos já depositados no mesmo, a partir da dragagem e a possível comercialização de parte dos materiais retirados.

## **CONCLUSÕES**

Como pôde ser observado, o assoreamento nos reservatórios é um processo inevitável, porém pode ser minimizado com a adoção de medidas preventivas e corretivas. Em relação às medidas preventivas, pode-se citar a escolha correta do local a ser implantado o reservatório, o monitoramento dos processos erosivos da bacia em que o mesmo está inserido e controle dos sedimentos afluentes (construção de barragens de contenção), entre outros. Considerando as medidas corretivas, pode-se destacar a dragagem de sedimentos, reforma de estruturas hidráulicas (como a modificação da tomada d'água de centrais hidrelétricas) e elevação (alteamento) de barragens.

A recomposição de matas ciliares participa como uma ferramenta de controle preventivo e/ou corretivo de grande importância para a mitigação do assoreamento de reservatórios.

O Reservatório de Três Irmãos, abordado como estudo de caso deste artigo, apresenta uma ocupação irregular parcial de suas margens. Nota-se uma contribuição de sedimentos por conta dos afluentes e também proveniente de atividades agropecuárias próximas às margens do reservatório, principalmente nos períodos chuvosos e quando os solos próximos ao seu entorno estão expostos devido à entresafra.

As políticas públicas da concessionária responsável pelo reservatório são a ferramenta mais adequada e poderosa para se minimizar o assoreamento do mesmo. No entanto, a ação isolada da concessionária pode ser inócua. É necessária uma ação conjunta entre o poder público (nos âmbitos municipal, estadual e federal), a concessionária e os proprietários de terras à beira do reservatório.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Núcleo de Hidrometria do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da Escola de Engenharia de São Carlos (USP).

## BIBLIOGRAFIA

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (2009). “Programa Produtor de água”. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/produagua/>>. Acesso em: 15 maio 2011.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (2007). “Diagnóstico da Outorga de direito de uso de recursos hídricos no Brasil”. Caderno de Recursos Hídricos, 4, Brasília, 166 p.
- AHRENS, S. (2005). “Sobre a legislação aplicável à restauração de florestas de preservação permanente e de reserva legal” in: *Restauração florestal: fundamentos e estudos de caso*. Editores técnicos: Galvão, A.P.M. e Silva, V.P., Embrapa Florestas, Colombo – PR. pp. 13-26.
- BRANCO, S.M.; ROCHA, A.A. (1977). *Poluição, Proteção e Usos Múltiplos de Represas*, Edgar Blucher, CETESB, São Paulo, 185 p.
- BRASIL (2004). “Resolução CONAMA, nº 344, de 25 de março de 2004”. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res04/res34404.xml>>. Acesso em: 13 maio 2011.
- BRASIL. (2002). “Resolução CONAMA, nº 302, de 20 de março de 2002”. Disponível em: <[http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/2002\\_Res\\_CONAMA\\_302.pdf](http://www.ambiente.sp.gov.br/legislacao/estadual/resolucoes/2002_Res_CONAMA_302.pdf)>. Acesso em: 02 jun. 2011.
- BRASIL. (1984). Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. “Curso sobre estudo do transporte sólido nos cursos d’água e assoreamento de reservatórios de uso múltiplo”, São Paulo, Ilha Solteira, v. 2.
- BRASIL. (1965). “Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal” Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/blei19654771.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2011.
- CAMPOS, J.C.; LANDGRAF, P.R.C. (2001). “Análise da Regeneração Natural de Espécies Florestais em Matas Ciliares de Acordo com a Distância da Margem do Lago”. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 11, n.2, pp. 143-151.
- CARVALHO, N.O. (2008). *Hidrossedimentologia Prática*. Rio de Janeiro, Interciência, 599 p.
- CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. (2000a). *Guia de práticas sedimentométricas*. ANEEL, Brasília, 95 p.
- CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. (2000b). *Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios*. ANEEL, Brasília, 107 p.
- CENTRO TECNOLÓGICO DA FUNDAÇÃO PAULISTA DE TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO - CETEC. (2008). *Plano de Bacia do Baixo Tietê 2008 – Relatório Final*. 282 p.
- COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO – CESP. (2011). *UHE Três Irmãos*. Disponível em: <<http://www.cesp.com.br>>. Acesso em: 01 maio 2011.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1976). *Erosion and sediment control*. Washington, Surface Mining in the Eastern US, v. 1.
- FUNDAÇÃO PARA O INCREMENTO DA PESQUISA E DO APERFEIÇOAMENTO INDUSTRIAL – FIPAI. (2009). *Estudo do Assoreamento do Reservatório Formado pela Barragem da UHE Três Irmãos*. Relatório P&D. Convênio FIPAI/CESP. São Carlos. 197 p.
- GOLDSMITH, E.; HILDYARD, N. (1984). *The Social and environmental effects of large dams*. San Francisco, Sierra Club Books.
- GOTTSCHALK, L.C. (1964). “Reservoir Sedimentation” in *Handbook of Applied Hydrology*. Chow, Ven Te, New York, Mc Graw Hill, pp. 17.1-17.33.
- GUERRA, A.J.T. (1994). “Processos Erosivos nas Encostas” in *Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos*. Orgs. por GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B, Ed. Afiliada, pp. 149-209.
- INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS – ICOLD. (1989). *Sedimentation Control of Reservoirs*. Guidelines, Paris, Bulletin 67.
- MAHMOOD, K. (1987). *Reservoir Sedimentation. Impact, extent and mitigation*. World Bank Technical Paper, n. 71, Washington, DC. 118 p.

- MAIA, A.G.; VILLELA, S.C. (2006). “A interferência do assoreamento na operação de reservatórios” in *Anais do IV Semana de Estudos de Engenharia Ambiental*, Unicentro, v. 1. pp. 89-114.
- MENESCAL, R.A.; PERINI, D.S.; SCHERER-WARREN, M.; CARVALHO, M.S.B.S.; MARTINS, E.S.P.R.; SOARES, A.M.L.; CHAVES, L.C.G.; OLIVEIRA, F.A.J. (2009). “Identificação de reservatórios naturais e artificiais no Brasil” in *Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Campo Grande.
- MORRIS, G.L; FAN, J. (1997). *Reservoir sedimentation handbook*. McGraw-HILL, New York, 365 p.
- MULLER, A.C. (1995). *Hidrelétricas, Meio Ambiente e Desenvolvimento*. Makron Books, São Paulo, 412 p.
- NAGLE, G.N.; FAHEY, T.J.; LASSOIE, P.J. (1999). *Management of sedimentation in tropical watersheds*. Environmental Management, Nova York, v. 23, nº 4, pp. 441-452.
- PAIVA, E.M.C.D.; PAIVA, J.B.D.; MOREIRA, A.P.; MAFFINI, G.F.; MELLER, A.; DILL, P.R.J. (2001). “Evolução de processo erosivo acelerado em trecho do arroio Vacacaí – Mirim” in *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 6, n. 2, pp. 129-134.
- PIMENTEL, D.; HARVEY, C.; RESOSUDARMO, P.; SINCLAIR, K.; KURZ, D.; MCNAIR, M.; CRIST, S.; SHPRITZ, L.; FITTON, L.; SAFFOURI, R.; BLAIR, R. (1997). “Land use, erosion and water resources” in *Water Resources: Environmental Planning, Management and Development*. Ed McGraw Hill Companies, New York, cap. 2, pp. 37-71.
- POÇANO, W.L.; GIMENEZ, A.F; LEITE, A.A.G.; CARLSTRON FILHO, C.; PRADINI, L.F.; MELO, M.S. (1981). “Metodologia para estudo de assoreamento de reservatório (III): roteiro para estudo de reservatórios no sul e sudeste brasileiro” in *Anais do III CBGE*, Itapema, SC. pp. 331-353.
- PRIMAVESI, O.; ARZABE, C.; PEDREIRA, M.S. (2007). *Aquecimento global e mudanças climáticas: uma visão integrada tropical*. Embrapa Pecuária Sudeste. São Carlos, 213 p.
- RAUDKIVI, A.J. (1993). “Sedimentation: exclusion and removal of sediment from diverted water” in *Hydraulic Structures Design Manual*, n. 6, Nova York, Livrenoir, 173 p.
- REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (1999). *Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. Escrituras Editora, São Paulo, 717 p.
- ROCHA, J.S.M. (1997). *Manual de Projetos Ambientais*. Santa Maria, UFSM, 446 p.
- SALOMÃO, F.X.T. (1991). “Erosão e a ocupação rural e urbana” in *Curso de Geologia Aplicada a Problemas Ambientais*. AGAMA-DIGEM, v. 1.
- SCARPINELLA, G.D.; MAUAD, F.F. (2010). “Uso do entorno de reservatórios e emprego de matas ciliares: uma revisão” in *Anais do XXIV Congresso Latino-americano de Hidráulica*, Punta del Este.
- SHEN, H.W.; LAI, J.S. (1996). “Sustain reservoir useful life by flushing sediment” in *International Journal of Sediment Research*, Beijing, vol. 11, n.3, pp. 11-17.
- SISTEMA DE INFORMAÇÕES PARA O GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO – SIGRH (2011). *Mapa das unidades hidrográficas de gerenciamento de recursos hídricos*. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/cobranca/images/ugrhi.png>>. Acesso em: 03 maio 2011.
- SUGUIO, K.; BIGARELLA, J.J. (1979). *Ambiente fluvial. Ambientes de sedimentação sua interpretação e importância*. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, pp. 22-38.
- VANONI, V.A. (1977). *Sedimentation Engineering*. American Society of Civil Engineers. New York.
- YOON, N. (1992). “The state and the perspective of the direct sediment removal methods from reservoirs” in *International Journal of Sediment Research*, Beijing, v. 7, n. 2, pp. 99-116.
- ZOCAL, J.C. (2007). *Soluções cadernos de estudos em conservação do solo e água*. Presidente Prudente, CODASP, v. 1, n. 1.