

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

CONTROLE DO ASSOREAMENTO POR MÉTODOS DE MONITORAMENTO E A VIDA ÚTIL DE RESERVATÓRIOS

Daniela Rodrigues Ribeiro¹; Maria Cristina Navarrete Néris², Tássia Cestari Fernandes³; Arthur Bucciarelli Andreetta⁴; Liliane Lazzari Albertin⁵ & Milton Dall'Aglio Sobrinho⁶

RESUMO - O assoreamento de reservatórios pode ser definido pelo acúmulo de sedimentos a montante do barramento devido à diminuição da velocidade de fluxo de um rio, causando a redução da capacidade de armazenamento de um reservatório. Dentre os agentes causadores do assoreamento, têm-se a alteração do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica, a retirada das matas ciliares e o aumento da erosão. Um modo pelo qual é possível efetuar o controle do assoreamento é por meio de métodos preventivos - tais como pelos estudos sedimentométricos que permitem diagnosticar a real situação do transporte de sedimentos do rio e servem como ferramenta de estimativa do tempo de vida útil do reservatório, visto que seu cálculo depende do volume de sedimentos retidos em um reservatório.

Palavras-Chave – Barragem; Sedimentologia; Prevenção.

SILTING CONTROLLING BY MONITORING METHODS AND THE USEFUL LIFE OF RESERVOIRS

ABSTRACT – Reservoir silting can be defined as upstream sediment accumulation on the dam due to the decrease on the river flow velocity, causing a storage capacity reduction on a reservoir. Among the siltation causes agents are the change of the use and occupation of the soil of the river basin, the removal of the riparian forest and erosion increase. Preventive methods can execute the sedimentation control such as sedimentometric studies, allowing diagnostic the real sediment transport situation on the river and being used as a tool to estimate the useful life of the reservoir, since its calculation depends on the volume of sediment retained in a reservoir.

Keywords – Dam; Sedimentology; Prevention.

1) Mestrando do curso ProfÁgua – Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – UNESP Campus de Ilha Solteira, Avenida Brasil, 56 – Centro, Ilha Solteira, SP - CEP 15.385-000. Tel. (14) 99734-3982. E-mail: daniela.r.ribeiro@unesp.br

2) Mestrando do curso ProfÁgua – Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – UNESP Campus de Ilha Solteira, Avenida Brasil, 56 – Centro, Ilha Solteira, SP - CEP 15.385-000. Tel. (18) 99605-2141. E-mail: navarrete.neris@unesp.br@unesp.br

3) Mestrando do curso ProfÁgua – Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – UNESP Campus de Ilha Solteira, Avenida Brasil, 56 – Centro, Ilha Solteira, SP - CEP 15.385-000. Tel. (18) 98156-1259. E-mail: tassia.cestari@unesp.br

4) Mestrando do curso ProfÁgua – Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – UNESP Campus de Ilha Solteira, Avenida Brasil, 56 – Centro, Ilha Solteira, SP - CEP 15.385-000. Tel. (18) 99640-9968. E-mail: arthur.andreetta@unesp.br

5) Professor Assistente Doutor UNESP Campus de Ilha Solteira, Vice-coordenadora do curso ProfÁgua – Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Avenida Brasil, 56 – Centro, Ilha Solteira, SP – CEP 15.385-000. Tel. (18) 3742-1000. E-mail: liliane.lazzari@unesp.br

6) Professor Adjunto Doutor UNESP Campus de Ilha Solteira, Vice-coordenador do curso ProfÁgua – Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Avenida Brasil, 56 – Centro, Ilha Solteira, SP – CEP 15.385-000. Tel. (18) 3742-1000. E-mail: dall.aglio@unesp.br

1. INTRODUÇÃO

A construção de uma barragem e a formação do seu reservatório normalmente modificam as condições naturais do curso d'água. Em relação ao aspecto sedimentológico, as barragens geram uma redução das velocidades da corrente provocando a deposição gradual dos sedimentos carreados pelo curso d'água, ocasionando o assoreamento (CARVALHO et. al, 2000)¹.

O assoreamento é um processo de sedimentação das partículas que são transportadas por um rio. Rios em trechos de alta velocidade tendem a erodir o seu leito e margens, enquanto que nos trechos de baixa velocidade – como reservatórios, por exemplo – tende a ocorrer o assoreamento.

No reservatório formado, há a perda gradual da capacidade de armazenamento devido à retenção de sedimentos afluentes. Com essa redução de armazenamento, nos reservatórios de acumulação, há prejuízos para o abastecimento devido à diminuição do volume de água disponível, além de ocorrer uma possível alteração na qualidade da água, acarretando em desequilíbrios ecológicos e afetando a qualidade da água para consumo humano. Quando se trata de reservatórios de geração energética, tem-se uma redução no potencial de geração, podendo ocasionar no fim da operacionalidade do reservatório, abreviando sua vida útil.

Sob o ponto de vista sedimentológico, a vida útil do reservatório cessa quando o assoreamento passa a prejudicar a operação do aproveitamento hidrelétrico. A problemática pode acarretar na perda da capacidade do reservatório, e conseqüentemente, a geração de energia elétrica (ELETROBRÁS, 2003).

Como ação da prevenção do assoreamento em reservatórios, a Resolução Conjunta Nº 3 de 10 de agosto de 2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL e da Agência Nacional de Águas - ANA estabelece as condições e os procedimentos a serem observados pelos concessionários e autorizados de geração de energia hidrelétrica para a instalação, operação e manutenção de estações hidrométricas visando ao monitoramento pluviométrico, limnimétrico, fluviométrico, sedimentométrico e de qualidade da água associado a aproveitamentos hidrelétricos.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Agentes causadores do assoreamento

A redução da correnteza é um dos principais impactos devido ao estabelecimento de um reservatório (Cunha et al., 2013), resultando em maior tendência à deposição de sedimentos, sendo este o caso da construção das barragens. No entanto, outros fatores que também corroboram para a aceleração do assoreamento é a alteração do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica.

A alteração no uso e ocupação do solo é, em sua maior parte, a retirada de cobertura vegetal e sua impermeabilização, causando a ampliação do escoamento superficial direto. Tem-se, também, a retirada da cobertura vegetal e o aumento da área de solos expostos, promovendo uma maior susceptibilidade deste a erosões.

Destaca-se que a erosão é um elemento potencializador do assoreamento visto que as partículas retiradas do solo por meio da erosão são carregadas e depositadas nos rios por meio das chuvas. Destaca-se que os casos de assoreamento têm se multiplicado com o aumento da erosão nas bacias hidrográficas (CARVALHO et.al., 2000)¹.

A sedimentologia fluvial, com ênfase na análise de erosões e assoreamentos em reservatórios, são estudos de extrema importância visto que, segundo Carvalho (2008), no Brasil, a perda anual de volume dos reservatórios, é de aproximadamente 0,5% devido ao assoreamento.

A cobertura vegetal, principalmente as matas ciliares (Áreas de Preservação Permanente – APP), retardam o processo de assoreamento visto que essas “retêm” os sedimentos que seriam levados ao fundo dos rios por meio do escoamento pluvial. Logo, a retirada dessas, além de deixar o solo exposto estando este susceptível a erosões, permite que os sedimentos sejam carregados para os rios.

As APPs de margens de rios, uma vez desmatadas, degradadas e/ou indevidamente ocupadas, perdem a proteção conferida pela vegetação ciliar, ficando sujeitas aos efeitos de desbarrancamentos e deslizamentos de solo ou rochas e o conseqüente carregamento de sedimentos para o leito dos rios, promovendo seu assoreamento (MMA, 2011).

Apesar de existirem os agentes causadores do assoreamento dos rios, têm-se métodos que inibem o avanço do assoreamento, visando ampliar a vida útil dos reservatórios; dividiu-se em métodos preventivos e de monitoramento e métodos de mitigação ou atenuação.

2.2 Métodos Preventivos e de Monitoramento

Pela necessidade construção de barragens com finalidades de geração de energia e abastecimento de água no país, contrastando-se com as conseqüências da formação de um reservatório em um curso d'água, é de extrema importância monitorar e estudar o transporte de sedimentos em um corpo hídrico com o intuito de aumentar a vida útil dos reservatórios. Destaca-se que, segundo Carvalho et. al (2000)¹, estudos sedimentológicos devem ser realizados em todas as fases do aproveitamento, desde o planejamento (inventário, viabilidade e projeto básico) até a fase de operação.

Como um mecanismo preventivo e de identificação das condições de transporte e aporte de sedimentos em um reservatório, têm-se os estudos sedimentométricos. Estes são essenciais para determinar a quantidade e a caracterização de sedimentos transportados pelos cursos d'água. A carga sólida medida se refere à argila, siltes e areia transportada, não incluindo pedregulhos e pedras e matacões.

Segundo o Guia de Práticas Sedimentométricas (CARVALHO et. al, 2000)² norteia, a sedimentometria pode ser realizada por amostragem de sedimento, análise no laboratório, obtenção da curva granulométrica do material do leito e cálculos de obtenção da descarga sólida. Os trabalhos de sedimentometria são sempre efetuados no posto fluviométrico, sendo necessário o conhecimento de medidas como o nível d'água, a velocidade da corrente, a descarga líquida e outros.

Destaca-se que, com base nos estudos e monitoramentos sedimentométricos, conforme preconizado pela Resolução Conjunta N° 3 - ANEEL/ANA (2010), buscam-se insumos pertinentes para a tomada de decisões em caráter preventivo.

Os métodos que previnem a ocorrência do assoreamento e os de monitoramento são de melhor custo-benefício do que os métodos corretivos. Como método preventivo e de monitoramento, além do monitoramento sedimentométrico, tem-se o planejamento de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica, buscando identificar as alterações ocorridas no uso e ocupação do solo na bacia com o passar do tempo e a ocorrência de erosões.

Tratando-se de planejamento de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica, deve-se haver uma boa gestão quanto à manutenção da mata ciliar, visto que essa retém os sedimentos nas margens, impedindo que estes não sejam levados para o interior dos rios – além de evitar a erosão das margens.

Ainda como um método de monitoramento do assoreamento, tem-se o estudo topobatimétrico sistemático do reservatório. Por meio destes estudos, tem-se a obtenção de Curvas Cota x Área x Volume, comparando com as curvas de projeto, sendo possível obter a quantidade de sedimentos depositados no leito do rio.

2.3 Métodos de Mitigação

Podem-se estabelecer medidas mitigadoras do assoreamento, ou seja, ações que prometam retardar seu processo, viabilizando o aumento da vida útil de um reservatório.

Como um método de impedir o avanço acelerado do assoreamento, combatendo suas consequências, têm-se a dragagem. A dragagem consiste na retirada de sedimentos depositados nos fundos dos rios por meio de embarcações denominadas dragas.

A dragagem é um sistema eficiente. Sua utilização pode ser observada no reservatório da Pampulha. Segundo RESCK (2007), por meio de três campanhas de dragagem, foi retirado um volume de 4,6 hm³ de sedimentos - entre os anos de 1979 e 1996, posteriormente, entre os anos de 2000 e 2006, foi retirado um volume de 1,8 hm³.

No entanto, destaca-se que melhor do que combater o processo já avançado do assoreamento por meio da dragagem são os métodos que combatem suas causas, como os métodos preventivos. A dragagem, apesar de eficiente, é um método mais oneroso e que não corrige a causa, apenas impede que a situação se agrave ainda mais.

2.4 Vida Útil

O Brasil é um país com uma das maiores redes fluviais do mundo. Neste contexto, estudos hidrossedimentológicos são particularmente importantes uma vez que os sistemas elétricos do País são, ao menos, até o momento, de base predominantemente hidráulica. Segundo a ANEEL (2019), o Brasil tem nos rios sua principal fonte de geração de energia elétrica, visto que 63,74% do total de potência gerada é derivada de potenciais hidrelétricos das CGHs, PCHs e UHEs.

Para a utilização dos recursos hídricos, é necessário o conhecimento do regime fluvial que se dá por meio da rede sedimentométrica e de estudos a partir desta. Estas informações são obtidas por meio de observações locais e diárias por equipes de hidrométrica (MARCELINO, 2009).

Segundo Carvalho (1994), no contexto hidrossedimentológico, sua aplicação mais importante é a previsão do assoreamento e da vida útil de um reservatório. No entanto, sua relevância e aplicação não se reduz às obras hidráulicas. Os problemas advindos dos sedimentos atingem tanto os empreendimentos, quanto a qualidade de vida da população e o equilíbrio do meio ambiente.

A influência do assoreamento nos reservatórios está relacionada com a variação do seu volume útil, visto que este não se mantém constante no decorrer do tempo devido à deposição de sedimentos. Segundo Maia et al (2002), essa variação de volume nos reservatórios com finalidade de geração energética, de abastecimento público e industrial ou de irrigação acarreta em:

- diminuição da vazão regularizada, podendo levar ao não atendimento total das vazões estipuladas pelo projeto de abastecimento e irrigação da região;
- assoreamento das tomadas d'água acarretando em problemas para o sistema operacional de abastecimento;
- redução da vida útil do lago, podendo ter como consequência perdas econômicas do empreendimento.

Quando se trata especificamente de geração de energia, há um prejuízo na geração devido à variação da altura d'água útil do reservatório e da vazão regularizada pelo reservatório, como demonstra a Equação 1 apresentada por HELWEG (1992):

$$P = Q \cdot H \cdot E_{(t)} \cdot E_g \cdot cte \quad (1)$$

Em que:

P – Produção de energia, em KW

Q – Vazão regularizada, em m³/s;

H – Altura útil do reservatório, em metros;

E_(t) – eficiência da turbina;

E_g – eficiência do gerador; e

cte – constante referente ao peso específico da água.

De acordo com a equação, há uma redução no potencial de geração de energia elétrica (P) das usinas hidrelétricas com a redução do volume útil (H) e da sua vazão regularizada (Q), visto que essas são grandezas diretamente proporcionais à potência de geração.

Quanto à vida útil do reservatório – tempo em que a altura dos sedimentos depositados atinge a tomada d'água, segundo apresentado por Carvalho (2003), o seu cálculo depende, entre outros fatores, do volume de sedimento retido em um reservatório, conforme as equações abaixo apresentam:

$$S = (D_{st} \cdot E_r) / \gamma_{ap} = (365 \cdot Q_{st} \cdot E_r) / \gamma_{ap} \quad (2)$$

$$T = V_{res} / S \quad (3)$$

Em que:

S – volume de sedimento retido no reservatório, em m³/ano;

D_{st} – deflúvio sólido total médio anual afluente ao reservatório, em t/ano;

E_r – Eficiência de retenção do sedimento afluente ao lago (adimensional);

γ_{ap} – peso específico aparente médio dos depósitos, em t/m³;

Q_{st} – descarga sólida total média afluente ao reservatório, em t/m³;

T – tempo de assoreamento total do reservatório ou de certo volume, em anos; e

V_{res} – volume do reservatório (total, volume morto ou qualquer), em m³.

Com a equação apresentada, conclui-se que para aumentar o tempo de vida útil do reservatório, deve-se diminuir o volume de sedimentos retidos, visto que são grandezas inversamente proporcionais.

As grandezas apresentadas na equação são obtidas por meio de ensaios hidrossedimentológicos. A constatação do volume de sedimentos retidos no reservatório (S) só pode ser feita com base nos estudos sedimentométricos realizados sazonalmente e com frequência suficiente para acompanhar as variações climáticas e de nível do reservatório. Ao quantificar este volume, este poderá ser reduzido se houver políticas que visem mudanças do uso e ocupação do solo com aumento de áreas permeáveis, diminuição de áreas com solo expostos susceptíveis a erosões, manutenção e, se necessário, replantio da mata ciliar; deste modo, haveria o aumento do tempo de vida útil do reservatório.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos de monitoramento sedimentométrico constituem-se em uma importante ferramenta de identificação, monitoramento e controle do assoreamento em reservatórios. Esses devem ser realizados como forma de avaliação das condições do reservatório, a fim de que sejam adotadas medidas preventivas que controlem e impeçam o aumento do transporte de sedimentos.

As medidas preventivas, tais como o monitoramento sedimentométrico e o manejo do uso e ocupação do solo, são menos onerosos do que métodos corretivos - como a dragagem - e mais eficazes, quando se trata do aumento da vida útil de um reservatório.

A importância de estudar e entender o fenômeno do assoreamento em reservatórios é tal que, à medida que o assoreamento em um reservatório aumenta, tem-se a redução da vida útil deste devido ao aporte de sedimentos aproximar-se da altura da tomada d'água. Para usinas hidrelétricas, o maior aporte de sedimentos diminui a carga hidráulica, diminuindo a potência das turbinas. Para barragens de acumulação, a redução do volume torna-se prejudicial à captação de água devido à redução do volume do lago.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL)/AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Resolução Conjunta N° 003/2010.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *BIG – Banco de Informações de Geração – Capacidade de Geração do Brasil*. Atualizado em 12/04/2019. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em abril de 2019.

CARVALHO N.O. *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro, CPRM, 1994.

- CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios. Brasília: ANEEL. 2000. 140p. [1]
- CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JÚNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. *Guia de práticas sedimentométricas*. Brasília: ANEEL. 2000. 154p. [2]
- CARVALHO, N. O.; *Estudos do Assoreamento de Grandes Reservatórios – O Caso De Tucuruí* – XXV Seminário Nacional de Grandes Barragens. Salvador, 2003.
- CARVALHO, N.O. *Hidrossedimentologia prática*. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais CPRM/ Centrais Elétricas Brasileiras – ELETROBRÁS. 2. ed. Rio de Janeiro, 2008.
- CUNHA, A. C. *Revisão descritiva sobre ecossistemas aquáticos na perspectiva da modelagem da qualidade da água*. Biota Amazônia, v. 3, p. 124-143, 2013.
- HELWEG O. J. *Water resources: planning and management*. Malabar, Flórida, Krieger Publishing Company. 1992.
- Maia, G; Alamy, A.& E; Souza, J & B S.; Leonardo & Villela, Swami & Schulz, Harry. *Método Simplificado para Estimativa do Volume Assoreado de Reservatórios*. 2002.
- MARCELINO, M. *Transporte de Sedimentos em Suspensão nos Rios Catarinenses*. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis/SC, 2009.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. *Áreas de Preservação Permanente e Unidades de Conservação x Áreas de Risco*. Brasília – DF, 2011.
- RESCK, R, P. *Avaliação Morfológica e Estudo da Variação Horizontal de Parâmetros Limnológicos do Reservatório da Pampulha*. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte – MG, 2007.
- SILVA, E. P.; CAMARGO, J. C.; SORDI, A.; SANTOS, A. M. R. *O Futuro dos Recursos. Recursos Energéticos, meio ambiente e desenvolvimento*. MultiCiência: Revista Interdisciplinar dos Centros e Núcleos da Unicamp. Campinas, 2003.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos, também, ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015 pelo apoio técnico científico aportado até o momento.