

Análise Qualitativa do Assoreamento do Reservatório de Promissão (SP)

Adelena Gonçalves Maia

Departamento de Engenharia Ambiental - UNICENTRO
adelena@irati.unicentro.br

Swami Marcondes Villela

Departamento de Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos/USP
swami@shs.com.br

Recebido: 05/09/08 - revisado: 07/12/09 - aceito: 04/01/10

RESUMO

O assoreamento de reservatórios formados pela construção de barragens é um processo inevitável, sendo as suas consequências amenizadas através do conhecimento da dinâmica do processo e da aplicação de medidas de controle corretivas e preventivas. O estudo de caso apresentado neste trabalho foi realizado no reservatório de Promissão (SP), localizado no Médio Tietê. A análise do assoreamento foi feita com base na variação do nível do fundo do reservatório, através da comparação da topografia original do lago na época do seu enchimento, em 1975, com a topo-batimetria levantada no ano de 2005. Os resultados apresentaram o grau de assoreamento dos compartimentos estudados, bem como a localização do sedimento depositado, se dentro ou fora do volume útil. O corpo principal do reservatório foi pouco atingido pelo assoreamento e dentre os afluentes mais importantes do reservatório, o Rio dos Porcos e o Rio Batalha foram os mais afetados. Outros afluentes de menor importância se apresentaram totalmente assoreados ou com elevado grau de assoreamento, com a maior parcela de sedimento depositado no compartimento do volume útil do reservatório. A análise qualitativa de dados de assoreamento se mostrou eficaz para a determinação do estágio de assoreamento dos afluentes e do corpo principal do reservatório de Promissão.

Palavras-chave: assoreamento, análise qualitativa, reservatório de Promissão.

INTRODUÇÃO

O processo de assoreamento atinge todos os reservatórios formados em decorrência da construção de barragens. O sedimento pode se acumular no compartimento do volume útil do reservatório ou em cotas inferiores ao mesmo, desta forma não alterando o volume útil, mas diminuindo o volume morto do reservatório e a sua vida útil. O sedimento depositado no volume útil do reservatório altera a vazão regularizada, a capacidade de produção de energia elétrica e o atendimento de outros usos consuntivos e não consuntivos da água, acarretando em perdas financeiras para o empreendedor.

O volume de sedimento acumulado em um reservatório pode ser calculado a partir da comparação da topografia original do lago com o levantamento topo-batimétrico atual do reservatório. Este procedimento é mais confiável do que os baseados na estimativa do sedimento afluente

ao reservatório e da sua eficiência de retenção. No entanto, a comparação da topografia do fundo do reservatório em diferentes datas pode trazer incertezas relacionadas, na maioria dos casos, às plantas topográficas originais do reservatório, por serem, na sua maioria de difícil obtenção e pela má qualidade que algumas delas podem apresentar.

A análise qualitativa do assoreamento de reservatório pode ser uma alternativa para a determinação dos trechos do reservatório mais afetados pelo acúmulo de sedimento.

Com relação à pesquisa qualitativa, Pereira (2004) justifica o seu uso reduzido ao afirmar que "a imateriabilidade da qualidade tende a falsamente sugerir sua imponderabilidade, ou seja, sua impossibilidade de ser medida." o autor ainda conclui ao dizer que "tudo na natureza é possível de mensuração, basta identificar qual *numerus* é adequado a esta tarefa". Em muitas pesquisas científicas a análise qualitativa do objeto é renegada à segundo plano, ou mesmo negligenciada, por falta de informação

sobre a sua importância no acúmulo de conhecimento sobre o objeto de estudo.

Minayo e Sanches (1993) afirmam que do ponto de vista epistemológico, considerando os métodos quantitativos e qualitativos, nenhuma abordagem é mais científica do que a outra. Os autores concluem que o estudo quantitativo pode gerar questões para serem aprofundadas qualitativamente, e vice-versa. Desta forma, a utilização pelos pesquisadores de métodos quantitativos em conjunto com os qualitativos pode contribuir para o enriquecimento da análise realizada e para a geração de informações adicionais sobre o objeto de estudo.

De acordo com Neves (1996) nos últimos 30 anos a pesquisa qualitativa ganhou espaço em área como a Psicologia, a Educação e a Administração de Empresas. No entanto outras áreas que se valem preeminentemente da pesquisa quantitativa têm aberto espaço para o estudo qualitativo das suas informações.

Na área de recursos hídricos a técnica qualitativa de análise de dados tem se mostrado eficiente principalmente na avaliação de sistemas de gestão de recursos hídricos. Alvin e Ronca (2007), por exemplo, apresentam uma metodologia de avaliação da contribuição das ações de comitês de bacias hidrográficas na gestão integrada destas bacias, com o estudo de caso do Comitê do Alto Tietê (SP).

O estudo do assoreamento de reservatório é fundamental para a determinação da sua vida útil, bem como para a análise da viabilidade de investimentos nas obras de construção de barragem. O que vai determinar a metodologia empregada no estudo do assoreamento de um reservatório, construído ou em planejamento, são os dados disponíveis para este trabalho. Modelos computacionais baseados na dinâmica dos fluídos já são ferramentas disponíveis, no entanto a falta de dados de entrada para estes modelos muitas vezes inviabiliza a sua utilização. A aplicação de análise de dados qualitativos no estudo de assoreamento pode ser uma ferramenta auxiliar devido ao reduzido número de informações necessárias para o seu uso, considerando a metodologia apresentada neste trabalho.

O estudo qualitativo a partir de dados quantitativos é o que propõe este estudo de caso, que se utiliza de dados da variação do nível do fundo do reservatório, durante o seu período de operação, para se agregar informações sobre o assoreamento do reservatório de Promissão (SP).

METODOLOGIA

Análise de dados qualitativos

A análise qualitativa não trabalha diretamente com dados coletados, mas sim com a observação do objeto de estudo para posterior geração de dados, se utilizando assim da subjetividade para a geração de conhecimento científico.

Pereira (2004) lembra que o dado qualitativo é uma estratégia de mensuração dos atributos do objeto, sendo os seus predicados o objeto de estudo. As variáveis qualitativas do objeto de estudo são classificadas de acordo com as características apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação de variáveis qualitativas.
Fonte: Pereira (2006)

Tipo de variável	Subtipo	Característica
Qualitativa	Categórica Nominal	Categorias, sendo que cada categoria é independente, sem relação com as outras. V.g. raça (com categorias como caucasiana, negra, etc.) nacionalidade (brasileira, argentina, etc.).
	Categórica Ordinal	Categorias, sendo que cada categoria mantém uma relação de ordem com as outras que pode ser ou não regular. V.g.: escolaridade com categorias, como nível 1, 2, 3; classe social (A, B, C...).

As variáveis qualitativas podem ser alocadas em categorias, e no caso da variável qualitativa categórica ordinal, estas categorias têm uma relação ordinal entre si.

Análise qualitativa do assoreamento do reservatório de Promissão

A Usina Mário Lopes Leão, responsável pela formação do Reservatório de Promissão, teve o iní-

cio da sua operação em 1975, sob concessão da Companhia Energética de São Paulo (CESP), estando atualmente, desde 1999, sob a operação da AES-Tietê. A usina conta com três unidades geradoras de energia elétrica, com potência unitária de 88 MW, totalizando uma potência instalada de 264 MW. O reservatório de Promissão é o quarto reservatório do sistema de cascata do Médio e Baixo Tietê, o seu volume útil de projeto é de 2.127 hm³.

A análise quantitativa do assoreamento do reservatório de Promissão, no período de 30 anos de operação (1975 a 2005), foi realizada e apresentada por Maia (2006). No entanto, frente às incertezas referentes ao processo de obtenção da planta original, de 1975, fez-se necessária uma análise qualitativa dos dados, para se analisar comparativamente o assoreamento dos afluentes e do corpo principal do reservatório.

A análise qualitativa dos dados não foi realizada de forma discursiva, com a comparação trecho por trecho da ocorrência ou não de assoreamento, com base na variação das curvas de nível, pois se acreditou que este tipo de análise não adicionaria uma informação comparativa dos grau de assoreamento dos trechos analisados.

O estudo qualitativo do assoreamento do reservatório de Promissão foi realizado a partir de dados quantitativos discretos, referentes à variação do nível do fundo do reservatório. Através desta análise cada trecho foi classificado em uma variável qualitativa categórica nominal e em variáveis qualitativas categóricas ordinais, estas classificações foram realizadas a partir do grau de assoreamento detectados nos trechos analisados e da localização do sedimento nos mesmos.

A avaliação da variação do nível do fundo do reservatório de 1975 a 2005 foi realizada segundo duas classes de dados: acúmulo de sedimento abaixo do nível mínimo de operação do reservatório e acima deste nível. O nível mínimo de operação do reservatório é de 379,7 m, sendo acima deste nível caracterizado o volume útil do reservatório. Como a planta original da topografia do reservatório, em 1975, apresenta curvas de nível de 5 em 5 metros, o nível mínimo de operação do reservatório foi estabelecido na cota de 380,0 m, pois esta cota está presente na planta original.

A seguir, nas Figuras 1 e 2, são apresentados os principais afluentes do reservatório de Promissão, bem como as letras identificadoras dos mesmos.

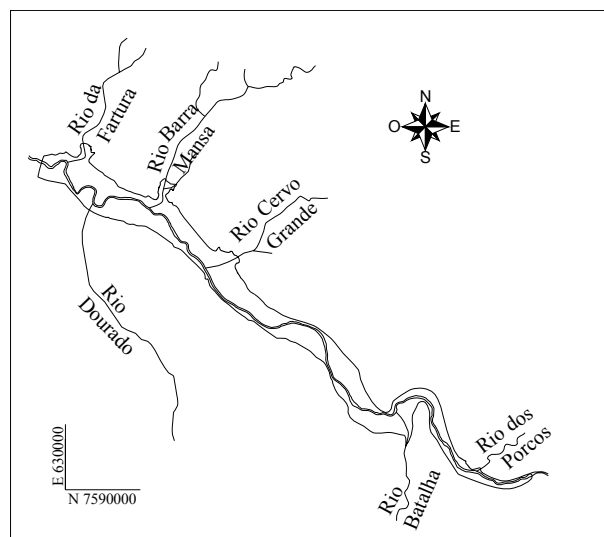


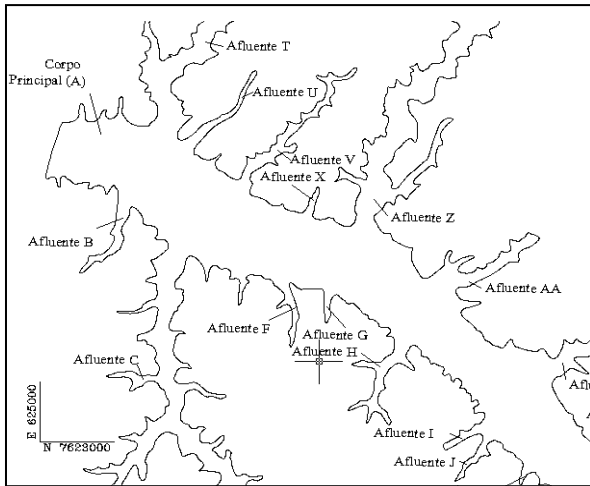
Figura 1 – Localização dos principais afluentes do reservatório.

Para a análise da variação do nível do fundo dos afluentes e do corpo principal do reservatório, os mesmos foram divididos em trechos de igual área de alagamento na cota 385,0 metros. Como os afluentes e o corpo principal do reservatório apresentam área de alagamento muito diferentes, foram estabelecidas classes, a partir das quais foram definidas as áreas de divisão dos trechos, de acordo com o Quadro 2.

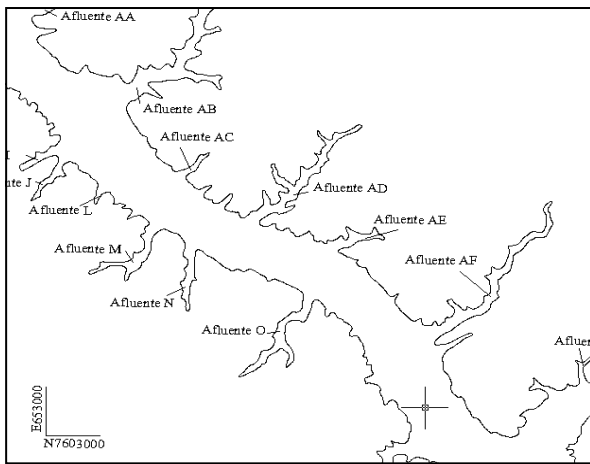
Quadro 2 - Classes para a determinação da área de cada trecho.

Classes de área (x 10 ³ m ²)	Área por trecho (m ²)
0 - 1.000	200.000
1.000 - 10.000	700.000
10.000 - 30.000	1.000.000
30.000 - 50.000	1.500.000
> 50.000	5.000.000

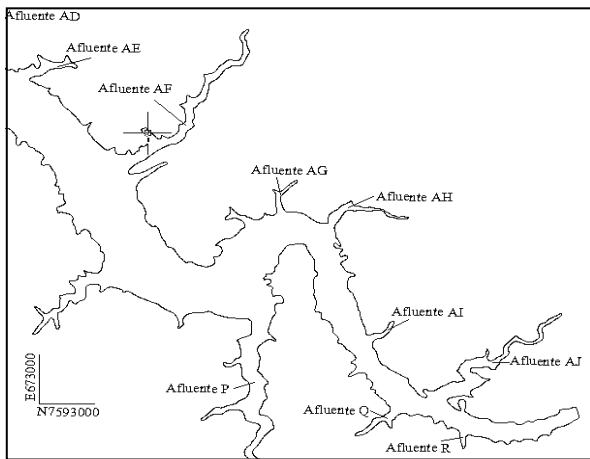
Como exemplo, pode-se analisar o afluente "V", que tem área na cota 385,0 m de 3.181 x 10³ m², sendo assim, de acordo com a Quadro 2, este afluente foi dividido em trechos de área de 700.000 m², sendo possível dividir o afluente em 5 trechos (V1, V2, V3, V4 e V5), como apresentado nas Figuras 3 e 4.



(a)

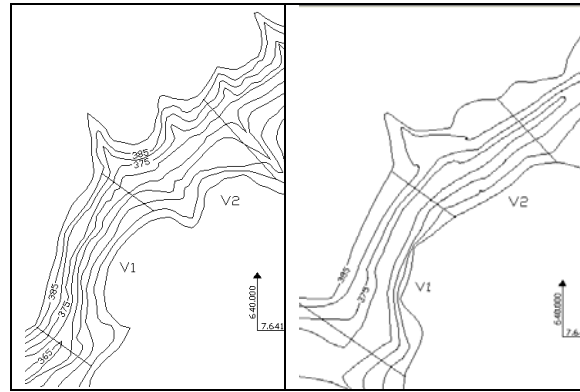


(b)



(c)

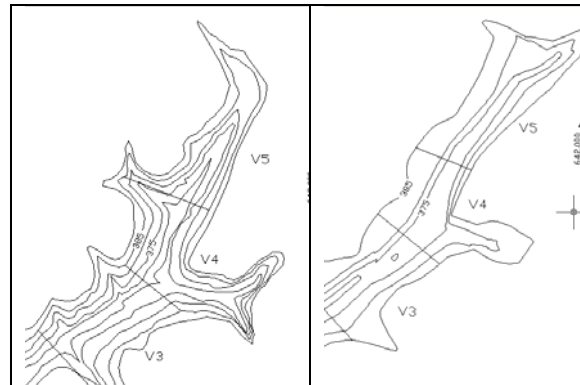
Figura 2 – Identificação dos afluentes do reservatório:
(a) trecho próximo à barragem, (b) trecho médio e
(c) trecho de entrada do reservatório.



(a)

(b)

Figura 3 - Trechos V1 e V2, do afluente V, da planta original (a) e da batimetria (b).



(a)

(b)

Figura 4 - Trechos V3, V4 e V5, do afluente V, da planta original (a) e da batimetria (b).

Todos os afluentes e o corpo principal do reservatório foram divididos em trechos para a análise da variação do nível do fundo do reservatório. Em alguns afluentes foi verificada a diminuição do nível do fundo do reservatório, não sendo verificada a ocorrência de assoreamento nestes afluentes. Deve-se destacar os afluentes "C" (Rio Dourado) e "F" que tiveram uma variação de fundo de 30 e 25 metros, respectivamente. Nestes afluentes é evidenciada a ocorrência de dragagem do leito do rio. Todos os afluentes que tiveram a diminuição do nível do fundo do reservatório foram desconsiderados neste estudo.

Para o cálculo dos percentuais de assoreamento abaixo e acima da cota de 380,0 m e do percentual não assoreado, foi considerada a variação do nível do fundo do reservatório da planta original e da batimetria, dos trechos dos afluentes analisados. A altura assoreada acima da cota de

380,0 m foi calculada a partir das seguintes considerações: (i) quando o nível do fundo do reservatório da batimetria é inferior a 380,0 m, a altura assoreada é zero; (ii) quando os níveis do fundo reservatório da batimetria e da planta original são superiores a 380,0 m, a altura assoreada é igual a diferença destes níveis; e (iii) quando o nível do fundo do reservatório da batimetria é superior a 380,0 m e o nível do fundo do reservatório da planta original é inferior a este valor, a altura assoreada é a diferença entre o nível do fundo do reservatório da batimetria e a cota 380,0 m.

O cálculo da altura assoreada abaixo da cota 380,0 m foi realizado a partir das considerações apresentadas a seguir: (i) quando o nível do fundo do reservatório da planta original é superior a 380,0 m, a altura assoreada é zero; (ii) quando os níveis do fundo reservatório da batimetria e da planta original são inferiores a 380,0 m, a altura assoreada é igual a diferença destes níveis; e (iii) quando o nível do fundo do reservatório da batimetria é superior a 380,0 m e o nível do fundo do reservatório da planta original é inferior a este valor, a altura assoreada é a diferença entre a cota de 380,0 m e o nível do fundo do reservatório da planta original.

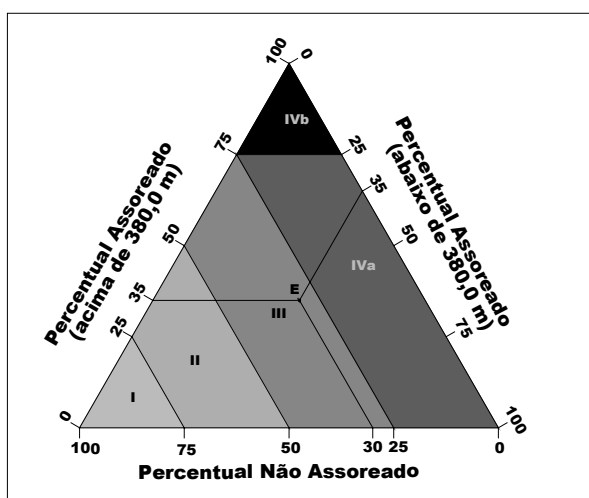


Figura 5 - Representação do diagrama triangular e da suas áreas de maior relevância.

Os resultados de todos os trechos analisados foram ilustrados através de um diagrama triangular, em que são apresentados três eixos, o do percentual de assoreamento acima da cota 380,0 m, o do percentual de assoreamento abaixo da cota de 380,0, e o percentual não assoreado. O diagrama triangular apresentada cinco áreas relevantes

(Figura 4). Nesta figura é apresentado como exemplo um afluente fictício "E", que sofreu um assoreamento de 35% acima e abaixo da cota de operação e apresentou um percentual não assoreado de 30%.

O diagrama triangular representado na figura 5 define as categorias para a classificação qualitativa categórica nominal dos afluentes, onde a Classe I representa uma classe que sofreu menos com o assoreamento e as Classes IVa e IVb as mais atingidas pelo acúmulo de sedimento, com destaque para a classe IVb que representa os afluentes nos quais uma grande parte do sedimento acumulado se encontra acima do nível de operação do reservatório.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta a análise de dados feita para o afluente V. Na referida tabela são apresentadas as cotas do fundo do reservatório das plantas original e da batimetria, dos trechos analisados. No afluente V todas as cotas do fundo do reservatório da batimetria são inferiores a 380,0 m, sendo considerados zero os valores de altura assoreada acima da cota de 380,0 m, para todos os trechos estudados. Neste afluente apenas foram observadas variações do nível do fundo do reservatório nos trechos V4 e V5, que obtiveram 5 metros de altura assoreada, para cada trecho, abaixo da cota de 380,0 m.

Para o cálculo dos percentuais de assoreamento abaixo e acima da cota de 380,0 m e do percentual não assoreado foi necessário o cálculo da altura acumulada até a cota de 385,0 m, que é a diferença acumulada da cota de 385,0 m e da cota do fundo do reservatório da planta original. Os percentuais finais de assoreamento do afluente V, acima e abaixo da cota de 380,0 m, foram de 0,00% e 13,33 %, valores percentuais dos totais acumulados das alturas assoreadas abaixo e acima de 380,0 m, com relação à altura acumulada até 385,0 m.

Tabela 1 – Assoreamento do afluente V no período de 1975 a 2005.

Trecho	Cota do fundo do reservatório (m)		Altura Assoreada		Alturas Acumuladas até 385,0 m (Planta Original)
	Planta Original	Planta da batimetria	Acima de 380,0 m	Abaixo de 380,0 m	
V1	370	370	0	0	15
V2	370	370	0	0	30
V3	370	370	0	0	45
V4	370	375	0	5	60
V5	370	375	0	5	75
Total			0	10	-
Percentual de assoreamento			0,00	13,33	-
Percentual que não assoreou				86,67	-

As Figuras 6 e 7 apresentam os resultados dos afluentes da margem esquerda e da margem direita, respectivamente.

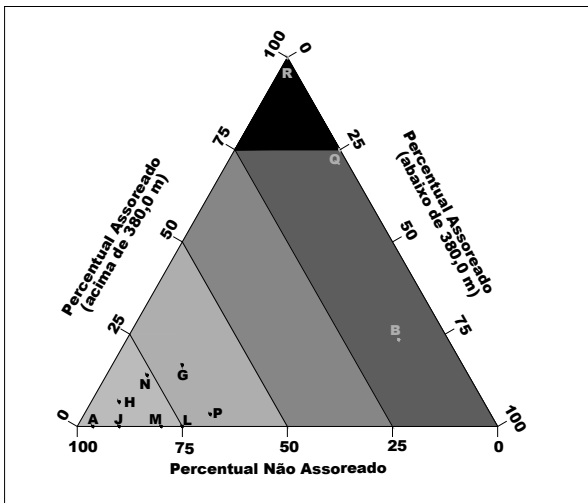


Figura 6 - Diagrama triangular representativo do grau de assoreamento do corpo principal do reservatório e dos afluentes da margem esquerda.

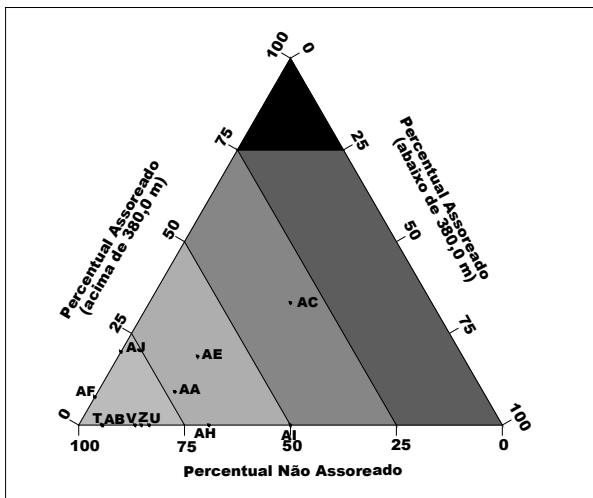


Figura 7 - Diagrama triangular representativo do grau de assoreamento dos afluentes da margem direita do reservatório.

Na Figura 6 observa-se que os afluentes “Q” e “R” apresentaram redução de 100% do seu volume inicial, com destaque para o afluente “R”, no qual todo o sedimento foi acumulado no seu volume útil. O afluente B também apresentou elevado grau de

assoreamento, sendo que o volume de sedimento acumulado no volume útil representa menos de 30% do seu volume inicial. Os outros afluentes e o corpo principal do reservatório, representado pela letra “A”, apresentaram uma situação menos grave quanto ao seu grau de assoreamento, com valores menores que 40%.

Os afluentes da margem direita do reservatório (Figura 7) foram menos susceptíveis ao processo de assoreamento, na sua maioria apresentaram menos que 50% do seu volume assoreado. O afluente “AC” apresentou maior grau de assoreamento, com a maior parte do sedimento localizado acima da cota 380,0 m.

A análise do diagrama triangular é feita a partir da variação do nível do fundo do reservatório e não da variação do seu volume. Na interpretação do diagrama quando se fala que “40% do volume inicial foi assoreado”, na verdade se quer dizer que, através da análise realizada, de uma escala de 1 a 100, sendo 100 o grau máximo de assoreamento, o afluente apresentou um grau de assoreamento de valor 40.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da análise do assoreamento dos principais afluentes e do corpo principal do reservatório.

Tabela 2 – Nível de assoreamento dos principais afluentes e do corpo principal do reservatório de Promissão.

Corpo Hídrico	Assoreamento (%)	
	Volume Útil	Volume Morto
Corpo Principal do Reservatório - A	0,0	3,8
Rio da Fartura - T	0,0	5,5
Rio Barra Mansa - Z	0,0	14,8
Rio Cervo Grande - AB	0,0	5,7
Rio dos Porcos - AJ	20,0	0,0
Rio Batalha - P	3,3	30,0

A partir da análise dos resultados apresentados se observa que o corpo principal do reservatório foi pouco afetado pelo assoreamento e que o sedimento depositado se encontra no volume morto do reservatório. Dentre os principais afluentes os mais atingidos foram o Rio dos Porcos e o Rio Batalha, sendo mais preocupante a situação do Rio dos Porcos por conta da localização do sedimento no volume útil do reservatório.

A Figura 8 apresenta as frequências de ocorrências para cada classes de assoreamento.

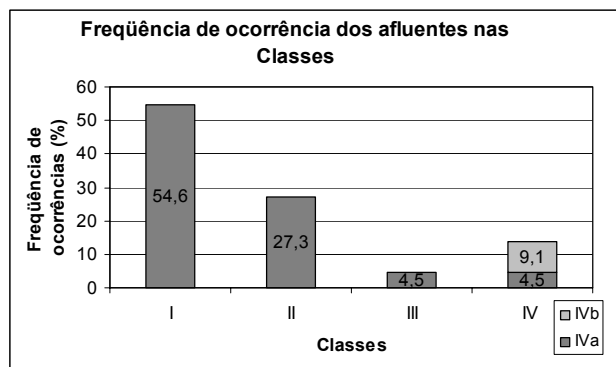


Figura 8 - Frequência de ocorrência das classes de assoreamento.

Na análise da Figura 8 observa-se uma maior concentração dos afluentes nas Classes I e II, que representam as classes com menor grau de assoreamento, no entanto vale ressaltar que estas classes agrupam os afluentes com até 50% de assoreamento, e parte dos afluentes localizados nestas classes apresentam a maior parte do sedimento acumulado acima do nível de operação do reservatório.

A análise qualitativa dos dados apesar de não fornecer valores sobre o volume de sedimento acumulado no reservatório é capaz de indicar, por análise comparativa, quais os afluentes que se encontram em estágio mais avançado de assoreamento, além de indicar o compartimento onde o sedimento está localizado.

CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo constatarem que os afluentes “Q” e “R” apresentaram redução de 100% do seu volume inicial, sendo que o afluente “R” se encontra em situação mais crítica, com todo o sedimento acumulado no compartimento do volume útil do reservatório. O afluente B também apresentou elevado grau de assoreamento, sendo que o volume de sedimento acumulado no volume útil representa menos de 30% do seu volume inicial. Mais de 80% dos afluentes apresentam percentuais de assoreamento menores que 50%, com destaque especial para o corpo principal do reservatório, que apresenta um grau de assoreamento menor que 4%.

A análise dos diagramas não é conclusiva em termos de estudo dos afluentes que mais contribuem para o assoreamento do reservatório, uma vez

que um afluente pode estar em pior situação do que outro, em termos de assoreamento, mas ser de menor porte, sendo assim responsável por um menor volume de sedimento no reservatório. Desta forma, este estudo não pode ser utilizado para a determinação da prioridade de ações a serem empregadas na bacia de drenagem ou no corpo do reservatório, a fim de minimizar ou reverter os efeitos do processo de assoreamento na operação do reservatório.

O estudo fornece o cenário global do assoreamento do reservatório e o compartimento onde se encontra o sedimento acumulado, se dentro ou fora do volume útil do reservatório. A partir destas informações é possível saber pontualmente a situação de todos os afluentes, e do corpo principal do reservatório, quanto ao grau de assoreamento, mesmo sem informações quantitativas referentes ao volume de sedimento acumulado nos mesmos.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Ampara à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de doutorado ao primeiro autor e aos profissionais do Núcleo de Hidrometria do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA/USP), em especial ao Professor Frederico Fábio Mauad, aos alunos Carlos Roberto Ruchiga Corrêa Filho e Liliâne Lazzari Albertin e aos técnicos José Roberto Maramarque e Waldomiro Antônio Filho, pela realização da batimetria do reservatório de Promissão e pela concessão dos dados.

REFERÊNCIAS

- ALVIN, A. A. T. B.; RONCA, J. L. C. Metodologia de avaliação qualitativa de ações com ênfase na gestão integrada: o Comitê do Alto Tietê em São Paulo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, p. 325-334, jul./set. 2007.
- MAIA, A. G. **As consequências do assoreamento na operação de reservatórios formados por barragens**. 2006. 164 p. Dissertação (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- MINAYO, M. C. S.; SANCHES, O. Quantitative and qualitative methods: opposition or complementarity?. **Caderno**

de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 9, n. 3, p. 239-248, jul/set. 1993.

NEVES, J. L. Pesquisa Qualitativa: características, usos e possibilidades. **Caderno de Pesquisas em Administração**, São Paulo, v. 1, n. 3, p. 2 – 5, 2º semestre 1996.

PEREIRA, J. C. R. **Análise de dados qualitativos: estratégias metodológicas para as ciências da saúde**. São Paulo: Edusp, 2004. 56 p.

Qualitative Analysis of the Promissão Reservoir Siltation

ABSTRACT

Siltation of reservoirs formed by dam building is inevitable, and the consequences of this process are lessened by knowledge of the process dynamics and the implementation of corrective and preventive control measures. In this research the siltation of Promissão Reservoir (located in Middle Tietê watershed) was investigated. Analysis of the siltation process was based on changes in the reservoir bottom level by comparing the original lake topography during the reservoir filling period in 1975, with the topobathymetry obtained in 2005. The results showed the degree of siltation of the compartments studied, as well as the sediment location, within or outside the active volume. The main body of the reservoir was little affected by siltation and among the most important reservoir tributaries, the Porcos River and Batalha River were the most affected. Other less important tributaries were fully silted up or had a high degree of siltation, with the largest share of sediment deposited in the active volume compartment. The qualitative analysis of silting data was effective to determine the stage of siltation in the tributaries and in the main body of Promissão Reservoir.

Keywords: *reservoir siltation, qualitative analysis, Promissão reservoir.*