

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/337322572>

MÉTODOS DE LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS EM RESERVATÓRIOS SEGUNDO A LITERATURA NACIONAL

Conference Paper · October 2010

CITATIONS

0

READS

24

4 authors:



Marcus Vinicius Estigoni

NHC Brasil Consultores - Especialistas em Recursos Hídricos

27 PUBLICATIONS 28 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Artur José Soares Matos

Serviço Geológico do Brasil - CPRM

7 PUBLICATIONS 13 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Julio Issao Kuwajima

University of São Paulo

22 PUBLICATIONS 57 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Frederico Fabio Mauad

University of São Paulo

86 PUBLICATIONS 87 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Estudos Quantitativos e Qualitativos dos corpos hídricos aplicados ao Reservatório do Lobo e seus Afluentes [View project](#)



Studies for Implementation and Monitoring the Sustainable Development Goal 6 in Brazil [View project](#)

SYSNO 3001698
PROD 22585
ACERVO DEUR

MÉTODOS DE LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS EM RESERVATÓRIOS SEGUNDO A LITERATURA NACIONAL

Marcus Vinicius Estigoni¹; Artur José Soares Matos²; Julio Issao Kuwajima³; Frederico Fábio Mauad⁴

RESUMO --- Apesar da grande ocorrência de água no planeta, a escassez desse bem se evidência pela sua distribuição irregular e pela alta demanda causada pelo crescimento populacional. Visando garantir a oferta hídrica em seus diferentes usos são construídos reservatórios, estes sempre associados a problemas de perda de volume de armazenamento devido ao assoreamento, o qual é quantificado por meio de estudos sedimentológicos, principalmente através de levantamentos batimétricos. Porém é notado certo déficit na literatura nacional quanto aos métodos de se realizar levantamento. Desta forma este trabalho visa evidenciar tal carência e produzir uma breve compilação sobre a abordagem do tema nas obras de maior relevância. Foram analisados onze obras no total, das quais apenas quatro (correspondendo a apenas dois autores diferentes) possuíam uma abordagem profunda sobre levantamentos batimétricos, e ainda sim havendo divergência entre os métodos propostos.

ABSTRACT --- Despite of the high water availability on the Earth, its scarcity is evidenced by its irregular occurrence and the increasingly demand caused by the population growth. Aimed to ensure the water supply for the different uses of water reservoirs are built, and their volume always decreases due the sedimentation processes, this sedimentation are assessed by sedimentology studies, mainly by bathymetric surveys. But the Brazilian water resource literature has a lack on how to conduct a bathymetric survey. So this paper aims highlights this deficiency and show up a compilation of most relevant Brazilian books approaches on the theme. This analyses was made uses eleven different books, and only four (corresponding to just two different authors) have a great approach on bathymetric surveys, and presenting disagreement between the proposed methods.

Palavras-chave: Sedimentometria, Assoreamento, Batimetria em Reservatórios

¹. Mestrando 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, Tel: (+55) 16 3373 8255. São Carlos-SP. E-mail: mv.estigoni@gmail.com

². Engenheiro Hidrólogo da Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais - CPRM. Av. Brasil, 1731, CEP: 30140-002, Tel: (+55) 31 9219 8969. Belo Horizonte - MG. E-mail: arturjmatos@gmail.com

³. Mestrando 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, Tel: (+55) 16 3373 8255. São Carlos-SP. E-mail: jkuwajima@gmail.com

⁴. 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, 13566-590, Tel: (+55) 16 3373 8255. São Carlos-SP. E-mail: mauadffm@sc.usp.br

1. INTRODUÇÃO

Apesar da grande ocorrência de água no planeta, a escassez desse bem é evidenciada pela sua distribuição irregular, 2/3 das reservas do mundo se localizam em somente 22 países e cerca de 47% se encontra na América do Sul, desses 53% estão no Brasil, este fator associado também a distribuição populacional geram cenários adversos quanto à disponibilidade hídrica (Machado, 2004).

Uma forma de se proporcionar o “aumento” da disponibilidade é a utilização de reservatórios, os quais armazenam o excedente de água da época de cheia de modo que este possa ser utilizado na época de seca, sendo o volume disponível diretamente relacionado com a capacidade de armazenamento do reservatório que por sua vez é ligado com a topografia do terreno o qual é construído.

A capacidade de armazenamento, também chamado de capacidade ou volume de reservação, é o dado base para a gestão de um reservatório. Todo o gerenciamento de um reservatório é feito através destes dados de volume, geralmente expressados por uma curva que relaciona a cota (profundidade relacionada e um marco de altitude conhecida em relação ao nível do mar) e o volume a ela associado. Sendo assim, com uma simples leitura de régua, se verifica o volume do que o reservatório possui no exato momento. Fornecendo subsídio para se determinar vazões a serem utilizadas em seus diversos usos, a abertura de vertedores, etc.

Com o passar do tempo o processo de assoreamento causa alterações no relevo de fundo tendo como consequência a perda capacidade de armazenamento. Sendo assim o levantamento topográfico prévio ao enchimento do reservatório não mais condiz com a atualidade e quanto maior a idade do reservatório menor será a fidelidade do dado pré-enchimento com a condição real. A utilização de dados superestimados de volume de reservação pode causar um uso acima da capacidade do reservatório, acarretando na falta de água nas épocas mais secas e todos os problemas associados.

A atualização destes dados é feita através de estudos batimétricos, os quais consistem no levantamento do relevo do fundo do reservatório. Estes dados além de fornecer o volume atual (da época do levantamento de dados) que um reservatório pode armazenar ao serem trabalhados em conjunto com os dados pré-enchimento, ou com batimetrias anteriores, fornecem dados quantitativos do assoreamento e também a previsão do tempo de vida útil do reservatório. Tal que a realização de estudos desta natureza são de grande importância para a gestão de recursos hídricos e gestão de energia no país, visto que a matriz energética nacional é predominantemente de origem hidráulica.

Muitos são os estudos batimétricos mundo a fora, porém é observada a ausência de uma

padronização de como se deve realizar o levantamento de dados, autores e organizações se divergem ante a este fato, apresentando em seus métodos quantidade e disposição dos dados muito distintos, e a utilização de diferentes métodos geram divergências nos volumes calculados como apontado por Estigoni, M. V. *et al* (2010).

2. OBJETIVOS

O presente trabalho busca através de revisão sistemática da literatura nacional evidenciar a carência de informações disponíveis quanto aos métodos de cálculo de volume de assoreamento e do tempo de vida útil de reservatórios através de Levantamentos Batimétricos, e também produzir uma breve compilação da abordagem ao tema realizado pelas obras de maior relevância da área.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O Brasil possui uma cultura diferente de países da Europa, da América do Norte e do Oriente em geral quanto a pesquisa científica. Nestes países, ao contrário do Brasil, grande parte das pesquisas são realizadas pela iniciativa privada, sendo estas ávidas participantes em congressos científicos. Já em nosso país, o setor de pesquisa se concentra basicamente nas universidades e algumas agencias governamentais, sendo pequena a participação de empresas.

Em paralelo ao fato de o setor privado não participar da comunidade científica, nossa academia segue o padrão mundial de divulgação de seus trabalhos, publicando-os em veículos puramente científicos, através de artigos em revistas especializadas e em congressos. Este fato torna complicada a comunicação e a transferência do conhecimento gerado na academia para o setor privado.

Sobre o assunto em questão, métodos de realização de levantamentos batimétricos em reservatórios, cabe ao setor privado a realização dos levantamentos batimétricos dos reservatórios nacionais.

Podemos generalizar que as instituições privadas recorrem a livros e manuais e não a artigos científicos. Deste modo o presente trabalho adotou como método a realização da revisão sistêmica focada em livros e manuais de autoria nacional e em língua portuguesa, assumindo que estes materiais possuam maior penetração no ambiente privado.

Foram selecionadas as obras nacionais mais relevantes sobre os temas que englobam estudos de assoreamento de reservatórios, sendo um total de onze obras na área do conhecimento da Hidrologia, Hidrometria e Hidrossedimentologia. As obras são:

- Hidrologia – Autor: Lucas Nogueira Garcez (1967);
- Hidrologia Aplicada – Autores: Swami Marcondes Villela e Artur Mattos (1975);

- Hidrologia Básica – Autores: Nelson L de Souza Pinto e outros (1976);
- Hidrologia e Recursos Hídricos – Autor: Antonio Marozzi Righetto (1998);
- Hidrologia – Autores: Carlos E. M. Tucci e outros (2001);
- Hidrologia Aplicada a Pequenas Bacias Hidrográficas – Autores: João B. Dias de Paiva, Eloíza M. C. Dias de Paiva e outros (2003);
- Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios – Autores: Newton de O. Carvalho e outros (2000);
- Guia de Práticas Sedimentométricas – Autores: Newton de O. Carvalho e outros (2000);
- Hidrossedimentologia Prática – Autor: Newton de O. Carvalho (1994);
- Hidrossedimentologia Prática 2ª Edição – Autor: Newton de O. Carvalho (2008);
- Hidrometria Aplicada – Autores: Irani dos Santos e outros (2001).

3. ANÁLISE DOS LIVROS

São destacadas ao longo deste trabalho as características de todos os livros separadamente, mostrando o tratamento dado ao tema de cálculo do assoreamento de reservatórios através de levantamentos batimétricos e assuntos correlatos.

3.1. Hidrologia – Autor: Lucas Nogueira Garcez (1967)

Esta obra de 1967 é o quinto volume de uma série de livros em Engenharia Hidráulica e Sanitária. O primeiro livro intitulado *Elementos de Mecânica dos Fluidos – Hidráulica Geral*, o segundo de *Elementos de Engenharia Hidráulica e Sanitária*, ambos de 1961. Em 1962 foram lançados dois volumes de *Construções Hidráulicas*.

O livro foi baseado nas notas de aulas do curso de pós-graduação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, POLI – USP.

As referências ao campo da hidrometria são feitas em um sub-item de um capítulo sobre escoamento superficial. Neste sub-item é abordada somente a medição de vazão em corpos d'água, apresentando o conceito de redes de monitoramento e métodos para análise e tratamento dos dados fluviométricos.

3.2. Hidrologia Aplicada – Autores: Swami Marcondes Villela e Artur Mattos (1975)

Este livro visou servir como livro-texto para a disciplina de Hidrologia ministrada ao quarto ano de Engenharia Civil da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, EESC – USP.

Logo em seu prefácio, há uma nota a qual retrata que esta obra apresenta basicamente o conteúdo da disciplina citada, a qual é ministrada em um semestre. É reconhecido pelos autores que os capítulos “Águas Subterrâneas” e “Transporte de Sedimento” não foram desenvolvidos como desejável, visto que a inserção de mais informações ficaria inviável para a apresentação do curso em um único semestre.

Dentro do capítulo que trata o escoamento superficial são citados os métodos de medição de descarga líquida. E em seu último capítulo é inteiramente dedicado ao transporte de sedimentos.

A abordagem é feita primeiramente relatando o fenômeno de erosão nos canais, cita também a erosão causada pelas águas da chuva, mas seu real enfoque está na erodibilidade dos canais. É destacado o papel dos reservatórios como ambientes de deposição do sedimento transportado e também o conceito de eficiência de retenção de partículas.

São apresentados métodos para o cálculo de descarga sólida, bem como explicado o funcionamento de amostradores de sedimentos de fundo e em suspensão, porém não são citados equipamentos, os métodos de amostragem e práticas laboratoriais de análises associadas.

Á um sub-item deste capítulo dedicado exclusivamente ao assoreamento de reservatórios. Nele são reforçados os conceitos de eficiência de retenção de sedimentos de um reservatório e que estes são ambientes propícios à sedimentação e conseqüente perda de volume do reservatório.

Pela primeira vez em livros ou manuais nacionais de relevância e que tinham distribuição no Brasil todo é citado o levantamento batimétrico periódico para a quantificação de assoreamento em reservatórios.

3.3. Hidrologia Básica – Autores: Nelson L de Souza Pinto e outros (1976)

Esta obra datada de 1976 surgiu com o intuito de preencher a lacuna na bibliografia nacional quanto ao tema de recursos hídricos. Possuindo a abordagem clássica ao tema, abrangendo o ciclo hidrológico, águas subterrâneas e vazões de enchentes.

Possui um capítulo dedicado à área da hidrometria, especificamente à fluviometria. Em nenhum momento é abordado o tema de transporte de sedimentos e assoreamento de reservatórios. Sendo também não abordado o tema batimetria em reservatórios.

3.4. Hidrologia e Recursos Hídricos – Autor: Antonio Marozzi Righetto (1998)

Esta obra é composta por onze capítulos, abordando amplamente o tema da hidrologia, dos quais um dedica-se ao dimensionamento e operação de reservatórios, o qual deixa bem claro que o volume de acumulação, o qual garante o fornecimento de uma vazão regularizada acima da vazão mínima do rio, é o dado básico para a gestão do reservatório. Neste momento ainda não é abordado o tema assoreamento, sendo brevemente citado que estudo de transporte de sedimentos devem ser feitos no período de análise de viabilidade do projeto.

As questões sobre sedimentologia são abordadas em capítulo separado, denominado “Erosão e Transporte de Sedimentos”. Este capítulo se inicia com a definição dos processos erosivos. Possui uma explicação muito aprofundada quanto aos processos de transporte de sedimentos ainda nas áreas de contribuição, ou seja, não no leito dos rios. É feita também uma pequena explanação sobre a Equação de Perda de Solo Universal.

É válido apontar praticamente todas as definições apresentadas são explicadas matematicamente através de longos equacionamentos, e que este linguajar matemático pode não ser de fácil entendimento para iniciantes no assunto. Mas para profissionais da área, estas definições associadas aos exemplos apresentados ao longo do livro são de grande valia na resolução de problemas e na realização de pesquisas da área.

Sempre seguindo a linha de definições matemáticas para os fenômenos, o autor explica o transporte de sedimentos em canais equacionando o problema, não sendo simplesmente citados os modelos como é geralmente abordado o assunto.

No sub-item de título “Assoreamento de Reservatórios” é citado o termo batimetria, mas este está associado como dado base para a modelação hidrodinâmica do reservatório, que inclui transporte, deposição e ressuspensão do sedimento. E por meio dela que se aconselha o cálculo o tempo de vida útil.

Os métodos tradicionalmente apresentados para cálculo do assoreamento de reservatórios e do tempo de vida útil não são abordados nesta obra. Não sendo abordado o tema de métodos de realização de levantamentos batimétricos.

3.5. Hidrologia – Autores: Carlos E. M. Tucci e outros (2001)

Ao longo deste livro são abordados os temas de utilização de reservatórios e de seu funcionamento, deixando bem claro que o volume é o dado básico para o gerenciamento, sendo bem enfocados os termos do balanço hídrico do reservatório, vazão afluente, defluente, usos e evaporação, mas ainda não é abordada a variação volumétrica que pode ser causada pelo assoreamento e suas conseqüências quanto ao gerenciamento do reservatório.

Os temas relacionados à sedimentologia estão se encontram no ultimo capítulo desta obra intitulado “Elementos de Engenharia de Sedimentos”, escrito por Marc P. Bardas e Franz R. Semmelman.

Neste capítulo temos uma introdução ao tema, iniciando pelo ciclo hidrossedimentológico e seus processos, basicamente através de definições dos termos erosão, transporte e decantação. Possui uma abordagem relativamente simples quanto às fórmulas de transporte de sedimento, e também quanto aos métodos de amostragem.

A sedimentologia especificamente voltada para reservatórios pouco é falada, sendo somente

um parágrafo destinado a este tema, o qual frisa que os reservatórios são grandes interceptadores do sedimento transportado pelos corpos d'água, e citam que:

“(...) Esta determinação é geralmente feita por comparação entre levantamentos topo-batimétricos feitos antes da construção da barragem e depois de um período de operação do reservatório, com uso de ecobatímetros.”

Porém não são abordados os métodos para a quantificação deste aporte de sedimentos, seja pelas formulações de eficiência de retenção do reservatório quanto pelos métodos de se realizar batimetrias.

3.6. Hidrologia Aplicada a Pequenas Bacias Hidrográficas – Autores: João B. Dias de Paiva, Eloíza M. C. Dias de Paiva e outros (2003)

A parte III do livro trata intitulada “Produção, Transporte e Deposição de Sedimentos, trata amplamente os temas referidos no nome, com destaque em capítulo separado para Assoreamento de Reservatórios, capítulo escrito por Evaldo Miranda Coiado. Este capítulo aborda desde os mecanismos do assoreamento, explicando sobre os tipos de depósitos (remanso, delta e de fundo), discorre sobre os métodos de se calcular o aporte de sedimentos, através dos cálculos de eficiência de retenção do reservatório, destes partem para a descrição de cálculo de tempo de vida útil, fazendo revisão sobre os diferentes métodos utilizados.

Desta forma nota-se que foi dada uma grande importância a medidas relacionadas ao projeto de um reservatório, métodos estes ligados a estimativa de um volume assoreado.

Os autores não abordam o tema batimetria nesta obra, não o relatando como técnica para a quantificação de assoreamento em reservatórios, e conseqüentemente não abordando sobre métodos de execução dos levantamentos.

3.7. Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios – Autores: Newton de O. Carvalho e outros (2000)

Logo no início desta obra é citado que até aquele momento (2000) o tema de assoreamento não havia sido adequadamente tratado no país devido à falta de tradição desses estudos. E também expõe como objetivo definir e estudar as características diretamente relacionadas ao planejamento e projeto de novas barragens bem como a operação daquelas existentes através do estudo da produção de sedimentos, do assoreamento do reservatório, do controle de sedimento e dos efeitos secundários.

Apresenta-se completo quanto às definições de produção, transporte e deposição de sedimentos. Abordando de forma clara e concisa os problemas causados pelo assoreamento e dá grande destaque à importância dos estudos de avaliação deste processo, desta a fase de inventariado

até a fase de operação do aproveitamento. Os estudos batimétricos são citados como medidas a serem tomadas durante a fase de operação do reservatório.

Trata também da instalação de redes de monitoramento sedimentométricas, bem como métodos de cálculo de descarga sólida, equipamentos utilizados para amostragem, método de coletas de amostras, análises em laboratório e eficiência de retenção de sedimentos em um reservatório. Porém estes tópicos são abordados com relativa simplicidade, sendo mais bem explorados em outra obra dos mesmos autores publicada pela ANEEL, o *Guia de Práticas Sedimentométricas* do ano de 2000 (abordado no item 3.8), podendo ser apontados como obras complementares.

Grande atenção é despendida para a questão da previsão do assoreamento e tempo de vida útil de reservatórios, com especial destaque à medição do assoreamento, neste ponto tratando sobre estudos batimétricos.

O início da discussão do tema batimetria dá-se com o intervalo em que os levantamentos devem ser feitos, apresentando em função do tamanho do reservatório a frequência do estudo, como apresentado na tabela 1. São feitas considerações sobre quando estes intervalos devem mudar, tal como o deflúvio sólido da área contribuinte, ocorrência de grandes enchentes e levantamento topo-batimétrico de apenas algumas seções como indicadores de grau de assoreamento, apontando esta última como prática comum.

Tabela 1 – Frequência desejável para levantamentos topo-batimétricos de reservatórios (Carvalho *et al*, 2000 a)

Porte do reservatório	Classificação em volume (m ³)	Frequência de levantamento
Pequeno	< 10 x 10 ⁶	Cada 2 anos
Médio	entre 10 a 100	Cada 5 anos
Grande	> 100	Cada 10 anos

Nota: A classificação aí apresentada não é rígida, podendo ter diferentes conceitos em outros países

São apontados dois métodos de realização de estudos batimétricos, o método do levantamento de contornos e o método do levantamento de linhas topo-batimétricas.

Os autores definem o método do levantamento do contorno como a utilização de procedimentos de mapeamento topográfico por aerofotogrametria, obtendo-se fotos do reservatório nos mais diversos níveis. O método é especialmente adequado para levantamentos aéreos quando os vôos podem ser programados para diferentes níveis de deplecionamento do reservatório em um intervalo de tempo relativamente curto.

Destacam o método do levantamento de linhas topo-batimétricas como é mais utilizado. Trata dos equipamentos comumente utilizados neste tipo de estudo, desde equipamentos mais rústicos como uso de trena para posicionamento e hastes graduadas para medida de profundidade até uso de

sistema DGPS (*Diferencial Global Positioning System*) para o posicionamento e ecobatímetros para medida de profundidade.

É proposto nesta obra os espaçamentos entre as seções como sendo função da escala de representação do mapa, seguindo a orientação da DHN (Marinha) as seções nos desenhos devem estar distanciadas de 1,0cm, sendo na tabela 2 apresentada uma orientação. É feito uma ressalva de que caso não seja observado grandes variações no leito, pode-se adotar distanciamento maior, como de 2,0 ou de 3,0cm entre seções transversais no desenho.

Tabela 2 – Distanciamento das seções transversais (Carvalho *et al*, 2000 *a*).

Escala do mapa	Distância entre seções (m)	Tipo de reservatório	Observação
1 : 2.000	20	Pequeno	Permite o desenho de seções a cada 1,0cm no mapa
1 : 5.000	50	Médio	
1 : 10.000	100	Médio a grande	
1 : 20.000	200	Grande	
1 : 25 000	250	Grande	

Como especificações para o levantamento são sugeridas a uma especificação para aumentar o espaçamento entre as seções. Sendo levantadas linhas batimétricas transversais ao longo de todo o reservatório e uma longitudinal sobre o antigo leito do rio até próximo a barragem, sendo referenciado ao nível máximo do reservatório. O espaçamento entre seções é de 1cm no mapa escolhido para as regiões onde se considera a formação do delta inicial e nas demais regiões 2 cm.

Além deste método proposto para espaçamento entre seções, os autores também citam a importância de se utilizar equipamentos como ecobatímetros e sistemas de posicionamento DGPS (*Diferencial Global Positioning System*) de qualidade compatível com a esperada nos estudos, bem como programa de computador para navegação e aquisição dos dados em tempo real em meio magnético para posterior processamento.

É aconselhado também no caso de grandes reservatórios a instalação de réguas linimétricas ao longo do mesmo, possibilitando a leitura de nível ao longo do levantamento para posterior correção nas medidas de profundidade. Caso o nível d'água esteja abaixo do nível de referência, as margens deverão ser levantadas com equipamento topográfico ou com GPS, até o nível desejado. É aconselhado também coletas de material de fundo a cada quatro seções para caracterização granulométrica do material do leito.

Logo em seguida é abordado o cálculo de volume do reservatório baseado nos dados batimétrico, mostrando diferentes métodos para o cálculo. O cálculo do volume assoreado realizado através dos mesmos métodos citados para levantamento primitivo ou anterior, para a realização de comparações e também do cálculo do volume de sedimento pela diferença entre os dois volumes de água do reservatório. A comparação entre as curvas cota x área e cota x volume são apontadas

também como método de comparação entre o antes e o depois de reservatórios que sofre com o processo de assoreamento.

Outro fenômeno importante apontado a ser observado através de estudos batimétricos é a evolução do cone de dejeção de sedimentos. Este estudo é feito através do levantamento de seções comparativas. Investiga-se a formação de coroas, mudanças na área do delta e a altura de sedimento depositado no pé da barragem. Desenha-se também a linha longitudinal do atual talvegue para comparação com a linha antiga, procurando-se obter o cone de dejeção de sedimento e o seu avanço, caracterizando o delta.

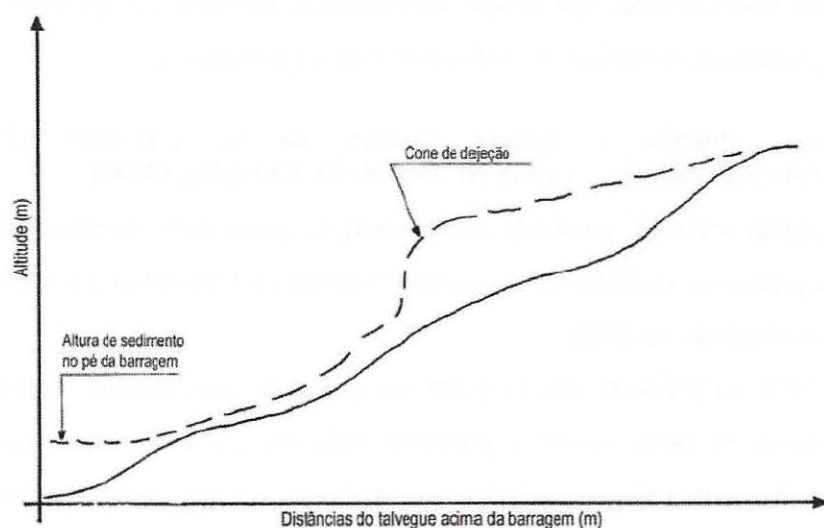


Figura 1 – Perfis longitudinais de levantamento de reservatório, podendo-se verificar o cone de dejeção (Carvalho, 1994 *apud* Carvalho *et al*, 2000 a).

É ainda citado brevemente a utilização de sondas de alta penetração, as quais seus sinais penetram no material de leito registrando respostas diferentes para diferentes materiais, granulometria, densidade, etc.. e também sondas de varredura lateral através de imagens. Não são citados equipamentos multifeixes, isto devido à época da publicação da obra.

3.8. Guia de Práticas Sedimentométricas – Autores: Newton de O. Carvalho e outros (2000)

Como já citado anteriormente, esta obra é de mesma autoria e editoração que o *Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios* do ano de 2000 (abordado no item 3.7), os quais são obras complementares.

Enquanto que o *Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios* aborda de maneira sucinta o planejamento e operação de uma rede de monitoramento sedimentométrica, a obra abordada neste capítulo aprofunda-se nestes temas.

Apresenta uma vasta revisão sobre os métodos de amostragem de sedimentos, tanto para material de leito quanto em suspensão, bem como a definição de volumes de amostras para as

análises. Sempre com um enfoque prático, apresenta importantes pontos a serem observados na escolha dos métodos e equipamentos a serem utilizados.

O mesmo enfoque prático é dado na descrição das análises laboratoriais, sendo apontadas as aplicações e limitações de cada método.

Apresenta também os diferentes métodos de cálculo de descarga sólida, processamento dos dados, análise de consistência e operação de uma rede sedimentométrica.

O grande enfoque desta obra está na nos fenômenos de produção e transporte, sendo um nenhum momento abordado o processo de deposição do sedimento, deste modo não são citados os casos de assoreamento de reservatórios, não sendo apresentados métodos de quantificação de assoreamento, seja por equacionamento ou por levantamentos topo-batimétricos.

3.9. Hidrossedimentologia Prática – Autor: Newton de O. Carvalho (1994) e Hidrossedimentologia Prática 2ª Edição – Autor: Newton de O. Carvalho (2008)

Como esta é uma edição revisada, ampliada e atualizada da publicação homônima de 1994 editada pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) e Eletrobrás. Os comentários de cunho técnico referem-se à edição de 2008.

O lançamento em 1994 da primeira edição pode ser apontada, sem dúvida, como a obra nacional de maior relevância na área, sendo a primeira dedicada exclusivamente ao tema e abordando com grande detalhamento todos as “sub-áreas” envolvidas, sempre com um enfoque bem prático e voltado para a apresentação dos problemas envolvidos e na solução dos mesmos, refletindo a enorme experiência do autor.

É a obra mais completa sobre o tema, possuindo aproximadamente 600 páginas exclusivamente dedicadas ao assunto. Tratando todo o ciclo hidrossedimentológico sob ótica prática, abordando da produção, ao transporte e a deposição do sedimento, destacando os problemas por eles gerados e suas conseqüências ao meio ambiente e as atividades humanas.

Newton Carvalho também é autor do livro já citado *Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios*, porém naquela ocasião foi utilizada uma escrita mais direta, visando o uso de uma linguagem relativamente simples para aplicação das técnicas apresentadas, já na obra *Hidrossedimentologia Prática* é apresentado o estado da arte das técnicas e equipamentos utilizados, buscando não só subsidiar a execução de trabalhos, mas também pesquisas sobre o tema, sendo praticamente impossível de se encontrar trabalhos científicos nacionais da área que não possuam referências a uma das edições desta obra.

É disponibilizado um cd com softwares gratuitos e livres juntamente com o livro, dentre eles estão o SEDIMENT para cálculo de assoreamento de reservatórios e o DPOSIT para simular a distribuição do sedimento em reservatórios. Eles utilizam cálculos de descarga sólida afluentes ao

reservatório, eficiência de retenção e dados de granulometria do sedimento afluyente, volume e curvas cota x área e cota x volume originais do reservatório.

Em se tratando de erosão, transporte de sedimento, equipamentos e técnicas de amostragem, análises laboratoriais, métodos de cálculo de descarga sólida, bem como medidas de controle de sedimentos, o conteúdo apresentado pelas obras patrocinadas pela ANEEL possuem grande diferença para o livro *Hidrossedimentologia Prática*, sendo no segundo abordado com maior profundidade. Mas quando se trata do tema batimetria de reservatórios, pouca é a diferença conceitual.

A frequência entre levantamentos é apresentada de forma menos rígida. Os mesmos intervalos de 2, 5 e 10 anos para pequenos, médios e grandes reservatórios, respectivamente, são mantidos, porém é feita a ressalva de que o custo destes levantamentos geralmente é um empecilho para a realização dos mesmos.

Os métodos de realização de estudos batimétricos apresentados são os mesmos, o método do levantamento de contornos e o método do levantamento de linhas topo-batimétricas.

Durante a abordagem do tema de planejamento das seções topo-batimétricas a serem levantadas são apresentadas duas diretrizes para a determinação do número de transectos.

A primeira é a mesma apresentada pelo *Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios*, a qual determina o traçado de linhas transversais ao eixo principal do reservatório a um espaçamento de 1cm no mapa. É apresentado que esta distância não é rígida, podendo ser mais espaçadas quando se observar uniformidade do leito, porém não é específico quanto a um espaçamento máximo ou sobre o que seria um leito uniforme.

A segunda é uma citação da obra de Morris & Fan (1997) retirada do trabalho de Loureiro & Mauad (2006) a qual apresenta uma equação que determina o número ideal de transectos a serem executados. Esta equação é embasada em levantamentos batimétricos em 57 reservatórios com áreas entre 30 e 15.000ha, e é expressa por:

$$N_{st} = 2,942 * A^{0,3652} \quad (1)$$

Onde:

N_{st} : Número de seções topo-batimétricas;

A : Área do reservatório (ha).

Também são feitas observações quanto ao uso de ecobatímetros e DGPS, bem como a instalação de réguas linimétricas ao longo dos reservatórios e correção da profundidade medida com o nível d'água do reservatório no momento da aquisição do dado, e demais observações já feitas no capítulo que trata da obra *Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios* escrita também por

3.10. Hidrometria Aplicada – Autores: Irani dos Santos e outros (2001).

Esta obra surge do aperfeiçoamento e da compilação de apostilas utilizadas em um curso homônimo ao livro os quais eram realizados pela parceria do Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza – CEHPAR, como a Universidade Federal do Paraná – UFPR e o Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC.

Como esperado em textos que evoluem de apostilas didáticas, este livro possui linguagem clara e simples, sendo que o rigor técnico apresentado em seu conteúdo não transparece na sua escrita. Pode ser facilmente utilizado para atividades de docência ou mesmo aconselhado para técnicos e engenheiros ingressantes na área.

Este livro aborda com enfoque prático a coleta de dados e amostras e o respectivo tratamento aos quais estes dados e amostras devem ser submetidos, isto para aspectos de qualidade, quantidade e do transporte de sedimentos de um corpo hídrico. Possui também um capítulo voltado para monitoramento de estuários e de ambientes marinhos.

Possui boa descrição de equipamentos e de métodos para a coleta de dados fluviométricos, bem como o processamento da informação para a geração de curvas de descarga.

Em seu capítulo 3 denominado “Levantamentos Topográficos e Batimétricos” é abordada a aplicação de batimetria para seções transversais de um corpo d’água, visando subsidiar os estudos fluviométricos. É válido ressaltar que neste momento a batimetria não é citada como método de cálculo de assoreamento de reservatórios, porém são caracterizados os equipamentos utilizados para este tipo de estudo, como posicionamento com equipamentos óticos e tecnologia GPS e medidas de profundidade por hastes, guinchos hidrométricos e ecobatímetros.

Um capítulo específico trata de da medição do transporte de sedimentos, abordando sua produção, transporte e deposição, incluindo um item sobre o batimetria de reservatórios.

Referencias primeira edição da obra *Hidrossedimentologia Prática* de 1994 são feitas, principalmente quando se retrata a importância dos levantamentos batimétricos e seus subprodutos gerados.

Os autores não estabelecem um padrão para o intervalo de tempo entre os levantamentos. Citam que a frequência é função do tamanho do reservatório, do custo financeiro do levantamento e, principalmente, a quantidade de carga sólida afluente. Destacam ainda que é importante a realização de levantamentos sempre que houver uma mudança na capacidade do reservatório superior a 5% e também após a ocorrência de cheias de grande magnitude.

Quanto aos métodos de levantamentos são apresentados o método do levantamento de contorno e o método do levantamento de linhas topo-batimétricas. O segundo método é apontado como mais comum, sendo definido como: “(...) definição e determinação em campo de seções transversais de monitoramento.”. Deve-se destacar que os autores abordam, mesmo que superficialmente, os problemas quanto ao planejamento de seções em braços de reservatórios, definindo que cada braço deve ser levantado separadamente.

As recomendações quanto à instalação de marcos topográficos amarrados a rede geodésica, utilização de mapas de levantamentos antigos e da época da formação do reservatório e se dar atenção especial às áreas de formação de deltas, desembocaduras de afluentes, são baseadas na obra de CARVALHO (1994).

Para a definição entre o espaçamento entre as seções do levantamento é apresentado o estudo de MORRIS & FAN (1997) já citado anteriormente (Equação 1). Mas ao citar este método os autores fazem a ressalva de que a equação deve ser utilizada apenas para estimativa preliminar do número de seções, pois estas devem representar satisfatoriamente o volume do reservatório, o qual depende fundamentalmente de sua geometria.

É também citado o método proposto por Yuqian (1989). Este método consiste em definir em mapa topográfico anterior ao enchimento do reservatório um número arbitrário de seções igualmente espaçadas. Para estas seções definidas é feito o cálculo do volume do reservatório, sendo este comparado ao modelo de referência. A diferença calculada deve estar dentro de uma tolerância de erro de 5%, em caso de este erro ser maior deve-se aumentar o número de seções e refazer o processo, em caso de o erro ser muito menor é aconselhado que se diminua o número de seções até chegar a um erro de 5% por questões financeiras.

A abordagem sobre o tema de batimetria em reservatórios se encerra com a apresentação dos métodos para o cálculo do volume, apresentando como ferramentas a utilização de programas de geoprocessamento.

4. DISCUSSÃO

Das 11 obras 3 delas são datam de antes dos anos 80, elas foram as primeiras obras nacionais de relevância ao tema de hidrologia, não podendo estas ficarem de fora de tal discussão. Dentre as 3 a única que apresenta conceitos fundamentados sobre sedimentologia é a de Villela & Mattos (1975), inclusive citando os levantamentos batimétricos como método para quantificação de assoreamento.

Neste intervalo de tempo até o lançamento da obra de Carvalho, N. O. (1994) não houveram

publicações que fossem consideradas de alto impacto nacional para serem abordadas. E somente com a obra de Carvalho (1994) é que se estabeleceu pela primeira vez na bibliografia nacional um padrão para a realização de levantamentos batimétricos.

É difícil de afirmar se não eram publicados livros sobre o tema por praticamente não existirem levantamentos batimétricos realizados até aquele momento, ou se não eram realizados tais estudos por uma falta de importância por parte da literatura. Mas é fato que tanto a realização de estudos quanto a produção bibliográfica era insipiente até a obra de Carvalho, N. O. (1994).

No final da década de 90 e início dos anos 2000 é que se concentram o lançamento dos principais livros e manuais do tema de recursos hídricos e sedimentologia utilizados hoje em dia, Righetto, A. M. (1998), Carvalho *et al* (2000 *a*), Carvalho *et al* (2000 *b*), Santos *et al* (2001), Tucci, C. E. M. (2001) e Paiva & Paiva *et al* (2003). Juntamente com os livros veio uma grande produção de artigos científicos, principalmente devido ao fortalecimento da Associação Brasileira de Recursos hídricos – ABRH com o crescimento e ampliação do número de simpósios, congressos e encontros promovidos pela instituição, bem como sua revista.

É esperado que para os próximos anos sejam lançadas novas obras, entre reedições e novos títulos. O primeiro a seguir esta linha foi Carvalho, N. O. (2008). Com esta obra este autor deixa a sem dúvida a marca de o maior nome na área da Engenharia de Sedimentos até o presente momento.

Tabela 3 – Quadro resumo da discussão geral sobre as obras estudadas.

Número	Quais Obras	Comentário
2	Garcez, L. N. (1967) e Pinto, N. L. S. <i>et al</i> (1976)	Não abordam o tema de sedimentologia
1	Villela & Mattos (1975),	Aborda o tema de sedimentologia simplificada, são capazes de responder a eventuais questionamentos do tema
3	Righetto, A. M. (1998), Tucci, C. E. M. (2001) e Paiva & Paiva <i>et al</i> (2003)	Abordam o tema de transporte de sedimentos, porém não retratam nada a respeito do uso de técnicas de levantamento batimétrico para estudos de assoreamento.
1	Carvalho <i>et al</i> (2000 <i>b</i>)	Não aborda o uso de técnicas de levantamento batimétrico para estudos de assoreamento.
4	Carvalho, N. O. (1994), Carvalho <i>et al</i> (2000 <i>a</i>) Santos <i>et al</i> (2001) e Carvalho, N. O. (2008)	Apresentam um total de 3 métodos diferentes para a realização de levantamentos batimétricos, convergem ao criticar o método de Morris & Fan (1997), porém cada autor indica a utilização de um método diferente.

5. CONCLUSÃO

A bibliografia nacional de fácil acesso, a qual é encontrada em lojas não especializadas no tema, se encontra relapsa quanto aos estudos batimétricos. Como já apontado no início deste trabalho, o uso de métodos diferentes para o levantamento batimétrico podem produzir resultados muito discrepantes, não devendo ser comparados entre si sem estudo prévio.

Esta falta de divulgação da importância destes estudos, bem como a divulgação de métodos diferentes, e possivelmente divergentes, pode trazer complicações para a operação de reservatórios e para os estudos batimétricos realizados. Tanto pela não realização de tais estudos, visto que a literatura não dá a devida importância ao tema, como pela utilização de métodos não compatíveis para o cálculo de assoreamento e vida útil de um reservatório.

Pesquisas estão sendo feitas para a elaboração de um método padrão para a realização de levantamentos batimétricos, visando assim melhorar a qualidade dos estudos de cálculo de volume assoreado a serem realizados. Espera-se também que estas pesquisas gerem uma produção bibliográfica votada para quem realmente realizará a maioria dos levantamentos batimétricos no país, o setor privado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, ao Conselho Nacional de Pesquisa – CNPq, à Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais – CPRM e à Escola de Engenharia de São Carlos – EESC / USP.

BIBLIOGRAFIA

a) Livro

CARVALHO *et al* (2000 a), *Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios*. Brasília: ANEEL. 140p.

CARVALHO *et al* (2000 b), *Guia de Práticas Sedimentométricas*, Brasília: ANEEL, 154p.

CARVALHO, N. O. (1994), *Hidrossedimentologia Prática*. CPRM, ELETROBRÁS. Rio de Janeiro, RJ.

CARVALHO, N. O. (2008), *Hidrossedimentologia Prática*, 2ª Edição, Rio de Janeiro-RJ, Editora Interciência.

GARCEZ, L. N. (1967), *Hidrologia*, São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda..

MACHADO, C. J. S. *et al* (2004), “*Gestão de Águas Doces*”, Rio de Janeiro: Interciência.

MORRIS, G. L.; FAN, J. (1997), *Reservoir Sedimentation Handbook: Design and Management of Dams, Reservoir, and Watersheds for sustainable use*, New York, McGraw-Hill.

PAIVA, J. B. D. & PAIVA, E. M. C. D. (2003), *Hidrologia Aplicada a Pequenas Bacias Hidrográficas*, Porto Alegre: ABRH.

PINTO, N. L. S. *et al* (1976), *Hidrologia Básica*, São Paulo: Editora Blücher.

RIGHETTO, A. M. (1998), *Hidrologia e Recursos Hídricos*, São Carlos: EESC – USP.

SANTOS, *et al* (2001), *Hidrometria Aplicada*, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba.

TUCCI, C. E. M. (2001), *Hidrologia – Ciência e Aplicação*, 2ª Edição, UFRGS: ABRH.

VILLELA, S. M. & MATTOS, A. (1975), *Hidrologia Aplicada*, São Paulo, McGraw-Hill do Brasil.

YUQIAN, L. (1989), *Manual on operational methods for the measurement of sediment transport*. Geneva: WMO.

b) Artigo em revista

STERNBERG, R. (2006), Damming the river: a changing perspective on altering nature. *Journal of Renewable & Sustainable Energy Reviews*. v 10, Issue3, p. 165-197.

c) Artigo em anais de congresso ou simpósio

ESTIGONI, M. V.; MATOS, A. J. S.; MAUAD, F. F. (2010), *Comparison Between two Bathymetric Survey Methods to Estimate Sediment Accumulation in the Lobo Reservoir*, Brisbane, QLD, Australia, Australia's National Water Conference and Exhibition –Ozwater' 10.