

VARIAÇÃO DE VOLUME CALCULADO EM GRANDES RESERVATÓRIOS UTILIZANDO DIFERENTES METODOLOGIAS DE LEVANTAMENTOS BATIMÉTRICOS

Artur José Soares Matos^{1,2}, Marcus Vinicius Estigoni² e Frederico Fábio Mauad²

⁽¹⁾CPRM – Serviço Geológico do Brasil – Belo Horizonte, MG – Brasil

*⁽²⁾Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada – Universidade de São Paulo (USP) – São Carlos, SP – Brasil
email: arturjmatos@gmail.com, mv.estigoni@gmail.com, mauadffm@sc.usp.br*

ABSTRACT --- This work aims to compare different methods for bathymetric surveys in large reservoirs in order to evaluate changes in the volume estimation. For each reservoir were applied different distances between the parallel transects to be compared. The parallel method was also compared to the transects in zigzag. Tools of geographic information systems (GIS) were used in this work to generate digital elevation models (DEM) and to calculate volumes. It was observed that the variation of the technique involves significant changes in the result. It is concluded that the method used in the bathymetric survey of reservoirs should be carefully evaluated before the start of field surveys for the construction of the curve elevation-area-volume in order to having the smallest possible error.

Keywords: Bathymetry, Sedimentation, Reservoir.

1. INTRODUÇÃO

A água doce é considerada um recurso mineral finito, vulnerável, essencial para sustentar a vida e um bem econômico, desde a Conferência Internacional sobre a Água e o Meio Ambiente realizada em Dublin em 1992

O Brasil, detentor de 20% da água doce do planeta, tem sua primeira legislação sobre o assunto, “Código das Águas”, datado de 1934. Mas somente a partir de 1997, com a criação da “Política Nacional de Recursos Hídricos” (PNRH) instituída pela Lei Nº 9.433/97, foram incorporados os conceitos de gestão de demanda, gestão da qualidade das águas nos modelos de gerenciamento de recursos hídricos e gestão ambiental de bacias hidrográficas. TUNDISI (2003) afirma que a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos representa um avanço conceitual muito importante e integrado de ação.

Um importante elemento a ser considerado no gerenciamento de recursos hídricos são os reservatórios de água, tanto de usinas hidroelétricas como de abastecimentos de água e/ou de usos múltiplos. Estes atuam, na bacia hidrográfica, reservando água da estação chuvosa para ser usada em estações onde a chuva é menos pronunciada, proporcionando assim um aumento na oferta deste recurso. No caso do uso para geração de energia elétrica, o armazenamento de água pode ser considerado como um armazenamento de energia.

O volume útil do reservatório, aquele que é efetivamente destinado à geração de energia, é avaliado e definido na fase de seu pré-enchimento, sendo que esta relação de cota/volume é utilizada durante a sua operação.

Esta intervenção humana transforma ambientes lóticos em ambientes lênticos, conseqüentemente o que se observa é que o fluxo de água que chega ao reservatório perde energia cinética e ganha energia potencial, num processo onde a velocidade diminui gradualmente. Com a diminuição de velocidade materiais em suspensão que antes eram carregados pelo fluxo começam a se depositar, primeiro os materiais maiores e mais pesados, e posteriormente os mais finos e leves. Estes materiais, que agora são depositados no fundo do reservatório, são provenientes de processo erosivos, naturais e/ou antrópicos, que ocorrem dentro da sua bacia de contribuição.

Os reservatórios atuam como verdadeiros filtros de sedimentos e iniciam assim o seu processo de assoreamento. Com o passar do tempo, o acúmulo de sedimento muda o seu relevo de fundo e este não mais condiz o levantamento realizado na fase de pré-enchimento, sendo necessária a reavaliação destes dados. Portanto a curva Cota-Área-Volume deve ser atualizada de tempos em tempos.

As concessionárias de energia, ou a própria ONS (Operador Nacional do Sistema), tendo em mãos um dado desatualizado ou não real do binômio Cota-Volume, pode avaliar erroneamente algumas informações, como a estimativa de vida útil do reservatório, a sua capacidade de gerar energia em certos períodos e outras variáveis, incorrendo em vários problemas.

Alguns procedimentos a serem adotados pelas concessionárias de energia elétrica são estabelecidos pela resolução conjunta ANEEL/ANA 003 de 10.08.2010. Dentre estes, ela estabelece que devam ser atualizadas as curvas cota-área-volume para fins de avaliação do processo de assoreamento de seus reservatórios. Onde se estabelece também, que estas curvas devem ser atualizadas a cada 10 anos.

A própria ANEEL também disponibiliza um livro eletrônico, ANEEL (2000), abordando a avaliação de assoreamentos em reservatórios, discorrendo sobre os métodos, especificações e os cálculos deste levantamento. Mas estes procedimentos são baseados principalmente em referências como: VANONI (1977) e ICOLD (1989) e CARVALHO (1994). Estes autores abordaram com maestria o assunto, mas o uso de novas tecnologias, equipamentos, softwares e um grande avanço na capacidade de processamento de dados requerem que estes procedimentos sejam melhores avaliados e readaptados à nova realidade.

Em resumo, a determinação das seções batimétricas, utilizando novas tecnologias, é um tema que não está muito bem definido. Autores e instituições de pesquisa que são tomados como guias no assunto apresentam métodos distintos.

Propõem-se com a elaboração deste trabalho comparar metodologias na definição das curvas cota-área-volume de reservatórios brasileiros, considerando a qualidade e disposição espacial dos dados coletados em campo.

1.1. REVISÃO DA LITERATURA

SIMONS & SENTÜRK (1992) relatam que os primeiros avanços na área do transporte de sedimentos aparentemente se desenvolveram na China, seguidos de uma fase no renascimento da Itália, onde o início desse período marcou o fim da transferência do conhecimento tecnológico do Oriente para o Ocidente, devido as incessantes guerras. Por volta do ano de 1452, teve início um novo período, nesta época Leonardo da Vinci foi o primeiro homem a ensinar o conceito de modelagem hidráulica estudando e observando a movimentação dos sedimentos. No século XVII os princípios básicos de hidráulica estudados

até hoje foram formados por engenheiros como Castelli, Toricelli, Hooke, Pascal, entre outros. Já no século XVIII os nomes que mais se destacam são Frizi, Bernoulli, Lagrange, Laplace, Pitot e Chézy, indo contra a teoria de que as partículas de sedimento se friccionavam ao longo de seu carregamento por atrito entre as mesmas. Apesar de grandes nomes como Jean-Claude Barre de Saint-Venant, R. Manning, Reynolds e W. Froude, quem mais se destacou na área de sedimentologia foram J Dupuit e DuBoys, sendo Dupuit o primeiro a evidenciar em seus estudos o efeito da variação da velocidade do escoamento no depósito das partículas.

O termo assoreamento é muitas vezes confundido com “erosão” ou “sedimentação” que na verdade são processos que constituem o assoreamento. Todo o processo correspondente à geração, transporte e deposição de sedimento é que corresponde a definição do termo “assoreamento”.

Erosão hídrica é o resultado do desgaste abrasivo ou da desagregação por embate, feito pela água sobre um substrato mineral com o qual tem contato. A ação mecânica ou impactante produz partículas sólidas de diversos tamanhos e formas. O processo erosivo é precedido de intemperismos, ação de agentes desagregadores físicos, químicos e biológicos ativos, potencializados pelas condições em que se encontra o corpo em erosão, por exemplo, a posição topográfica e o tipo de cobertura vegetal que o reveste. A erosão torna-se acelerada principalmente nas vertentes mais íngremes, onde a vegetação é rala ou inexistente, com solos arenosos e quando são aplicadas técnicas agrícolas inadequadas às condições dos terrenos (EMMERICH e MARCONDES, 1975).

Todos os cursos d'água naturais apresentam a propriedade de carrear sedimentos e o volume deste material depende da região drenada pelo curso d'água. O material transportado, partículas de rochas, solos e de matéria orgânica, caracterizam o tipo dos sedimentos do curso d' água (BRANCO et. al, 1977).

O gradiente de energia varia ao longo do percurso de um corpo hídrico, regiões com maior disponibilidade de energia, com declividade mais acentuada, tendem a ser produtoras de sedimentos, processo erosivo, enquanto que regiões de menor disponibilidade energética, como remansos naturais ou formados por barramentos, fazem com que o sedimento em suspensão venha a se depositar por ação da gravidade.

1.1.1. Assoreamento em reservatórios

Segundo CARVALHO (1994), o assoreamento gradual do reservatório, pode vir a impedir a operação do aproveitamento. No caso de usinas hidrelétricas, isso ocorre quando o sedimento depositado alcança a cota da tomada d'água. Essa retenção de sedimentos no reservatório é de certa forma benéfica, pois promove a limpeza da água para seus diversos usos, embora a sedimentação contínua possa resultar em assoreamento indesejável.

CARVALHO (1994) cita ainda que o assoreamento dos reservatórios possa causar os seguintes efeitos:

- Redução do volume d'água acumulado até inviabilizar o empreendimento;
- Efeitos sobre as estruturas; aumento de pressão na barragem, corrosão dos canais de adução e fuga, pás das turbinas e obstrução do sistema de refrigeração;
- Afogamento de locais de desova, alimentação e abrigo dos peixes;
- Formação de barras (bancos de areia) alterando e dificultando as rotas de navegação;
- Dificuldade ou impedimento da entrada da água nas tomadas d'água de sistemas de captação para fins agrícolas, pecuários, de saneamento urbano, industriais, etc.;
- Alteração ou destruição da vida aquática;
- Degradação do uso consuntivo da água.

O conjunto de técnicas utilizadas para quantificar a água de um corpo d'água é denominado hidrometria. Dentre estas técnicas temos a batimetria, consiste em levantar dados referenciados ou georreferenciados da profundidade ou cota da superfície do fundo de um reservatório ou seção de um rio. No caso de reservatórios são levantadas quantas seções forem necessárias para através de técnicas de modelagem 3D possa ser calculado o volume que este possui.

1.1.2. Batimetria em reservatórios

Os dois métodos mais comuns utilizados no levantamento de reservatórios são (Icold, 1989 apud Carvalho, 1994):

- Método de levantamento de linhas topobatimétricas.
- Método de levantamento de contornos do reservatório;

O primeiro foi brevemente explicado no último parágrafo do item 3.1 deste trabalho e será retomado adiante com maior detalhamento. O segundo consiste em levantamento do espelho d'água do reservatório em diferentes níveis. Este método só é aplicado em reservatórios que são esvaziados ou deplecionados, a

escolha do método dependerá da disponibilidade do mapeamento prévio, dos objetivos de estudo, do tamanho do reservatório e do grau de precisão desejado (Carvalho, 1994).

A frequência de levantamentos nos reservatórios depende de vários fatores, sendo os principais a sua capacidade total e a quantidade possível de depósito de sedimento devido à carga sólida dos rios. Os pequenos reservatórios e aqueles cuja carga sólida afluente é grande devem ser levantados com maior frequência. Por outro lado, reservatórios cuja carga sólida afluente fica reduzida terão a frequência de levantamento diminuída. É o caso, por exemplo, em que a área de drenagem foi reduzida pela construção de uma barragem a montante (Vanoni, 1977 apud CARVALHO et al, 2000), ou ainda, quando a bacia contribuinte reduziu o valor do deflúvio sólido devido a sua proteção.

Tabela 1 - Frequência desejável para levantamentos topo-batimétricos de reservatórios (adaptado de CARVALHO et al, 2000)

Porte do Reservatório	Classificação em volume (10^6 m^3)	Frequência de levantamento
Pequeno	<10	2 anos
Médio	Entre 10 e 100	5 anos
Grande	>100	10 anos

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

Para se otimizar a frequência dos levantamentos deve-se utilizar de dados de taxa de sedimentação obtidos de levantamentos anteriores e de dados de aporte de sedimentos (YANG, C. T. et al, 2006), como exemplo o mesmo autor cita o caso do lago Fort Peck o que inicialmente eram realizados levantamentos com 5 anos de intervalo, passando para 10 anos até constatar-se que seu assoreamento estava substancialmente abaixo do esperado. Então os levantamentos passaram a ser realizados com 20 anos de intervalo.

Os procedimentos para a o levantamento de dados batimétricos através de linhas topobatimétricas mudaram muito com o avanço da tecnologia. Os métodos mais tradicionais são bem simples, sendo feitas as medidas de profundidade com hastes graduadas ou guinchos hidrométricos, e a localização de cada ponto de amostra é feita com a fixação de um marco de referência e auxílio de cabos graduados que determinam um transecto (seção transversal) ou então com equipamentos óticos, como o teodolito, que com uma trigonometria simples fornece os dados de localização. Os dados são coletados de forma analógica, podendo ser digitalizados para tratamento computacional. Geralmente os métodos convencionais são bem mais demorados que os métodos mais modernos.

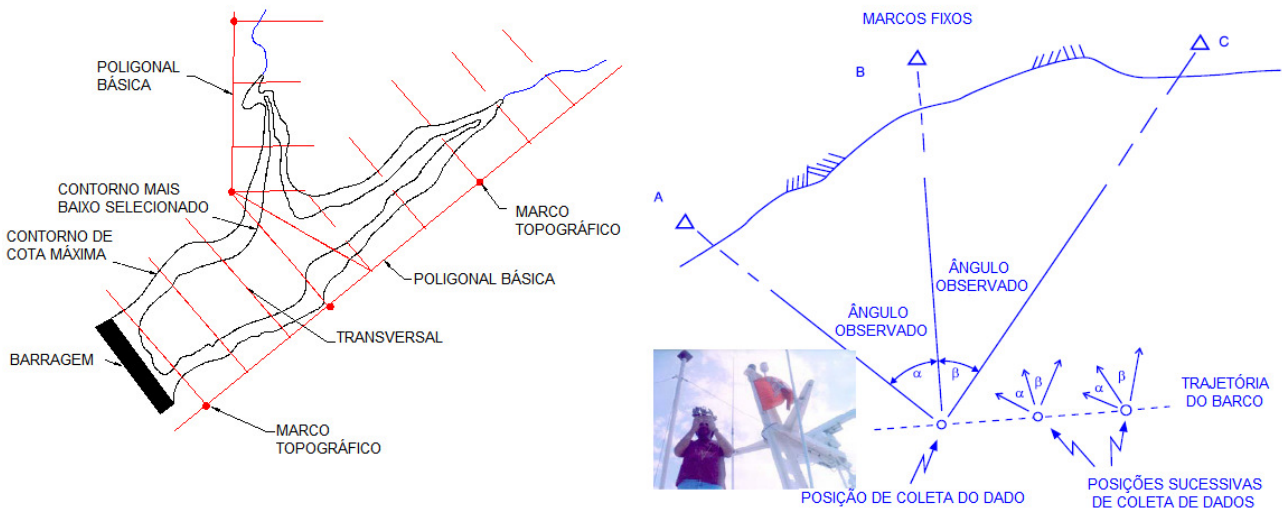


Figura 1 – Exemplo do planejamento de seções de levantamento batimétrico tradicionais (adaptado de CARVALHO 1994)

Nos métodos modernos o uso de um DGPS vem a eliminar a necessidade de amarração topográfica através de marcos em cada seção e sua utilização em conjunto com sondas acústicas, ecobatímetros, facilita o trabalho de coleta de dados, sendo feito de forma mais rápida, precisa e os dados são coletados em formato digital facilitando o pós-tratamento.



Figura 2 – Esquema da montagem dos equipamentos

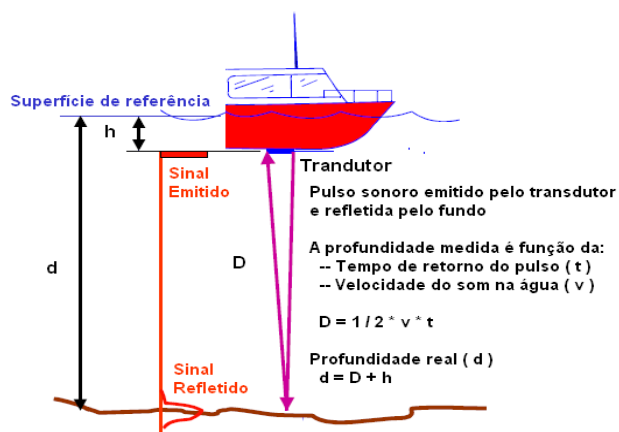


Figura 3 - princípios de funcionamento de uma sonda acústica (adaptado de Army Corps of Engineers)

2. METODOLOGIA

Neste trabalho foram estudados três reservatórios: Reservatório do Lobo, Reservatório de Bariri e o Reservatório de Ibatinga. No primeiro foi abordado o caso da batimetria em paralelo comparado com a batimetria em zig-zag em diferentes datas, nos outros dois foram comparados diferentes distanciamentos entre as seções transversais. Neste último caso os reservatórios foram adaptados para que a metodologia fosse aplicada e pudesse ser comparada.

Para a obtenção do volume do reservatório foram utilizados o software Idrisi 32 e o software ArcGis 10.

As batimetrias foram realizadas pelo núcleo de Hidrometria CREA/EESC/USP (Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo).

2.1. Reservatório do Lobo

A represa do Lobo ou represa do Broa localiza-se entre os municípios de Brotas e Itirapina, na Região central do Estado de São Paulo (22°15'S e 47°40'W), distante 18 km de São Carlos e possui uma área de 6,8km² e um volume aproximado de 22x10⁶ m³.

Foi construída em 1936 para fins de produção de energia elétrica pela Central Elétrica de Rio Claro S.A. (SACERC), a partir da década de 70 o entorno do reservatório foi loteado vindo futuramente a se transformar em um pólo turístico regional. Atualmente pertence à concessionária Elektro.

É formado principalmente pelo represamento do Rio Itaqueri, Ribeirão do Lobo, Córrego do Geraldo e Córrego das Perdizes, podendo ser destacados como principais os dois primeiros por apresentarem maior volume, cerca de 80%, sendo sua contribuição sedimentar relativamente alta (TUNDISI, J. G. 1977, MORAES, M. E. 1978 apud DELELLO, D. 2008).



Figura 4 – Fotos aéreas da Represa do Lobo e da barragem (Disponível em: <http://www.ilec.or.jp/database/sam/dsam01.html>)

Dois levantamentos batimétricos foram estudados, um realizado em 2004 e outro realizado em 2007, como mostra a figura 5.

As batimetrias foram realizadas pela equipe do Núcleo de Hidrometria pertencente ao Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), escola esta que pertence a Universidade de São Paulo (USP).

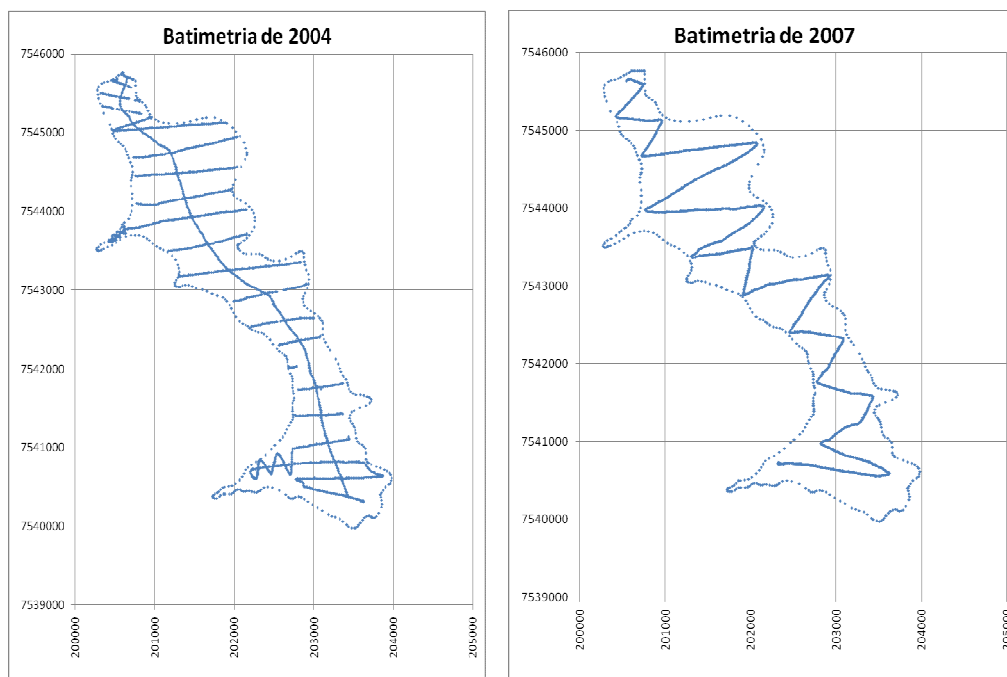


Figura 5 - Batimetria do reservatório da Represa do Lobo realizada em 2004 (à esquerda) e em 2007 (à direita).

Os levantamentos batimétricos foram feitos com a utilização de métodos modernos, utilizando ecobatímetro, modelo BATHY 500-MF da Ocean Data, e DGPS, modelo GS20 Professional Data Mapper da empresa suíça Leica Geosystems.

A aquisição dos dados das batimetrias de 2003 e 2007 foi feita com o auxílio do software River Surveyor da empresa californiana Sontek, que apesar de ser o software de aquisição de dados da sonda ADP (Acoustic Doppler Profiler), utilizado para medições de vazão, possui comunicação com DGPS e com sondas do tipo ecobatímetro.

2.2. Reservatório de Bariri

O reservatório de Bariri (figura 6), localizado no rio Tiête-SP, entrou em operação em 1965 e tem uma potência total de 136, 8MW. Abrange uma área de 63km² e um volume de 697x10⁶ m³.

Foram utilizados diferentes espaçamentos entre os transectos, os espaçamentos foram de 500m em 500m, de 1000m em 1000m e 1500m em 1500m como mostrado na figura 7.

O levantamento batimétrico original foi modificado para que a comparação de diferentes espaçamentos entre as seções transversais fosse possível. Foram suprimidos os afluentes principais do reservatório, algumas seções e partes do corpo principal.

Após esta fase utilizou-se o Arcgis 10 para a obtenção da curva cota-área-volume para cada caso. Foram comparados somente os resultados do volume, para os diferentes espaçamentos, considerando o reservatório no seu nível máximo, ou seja, na cota das bordas.



Figura 6 – Barragem do reservatório de Bariri (Disponível em <http://www.aestiete.com.br/usinas/Paginas/Bariri.aspx>)

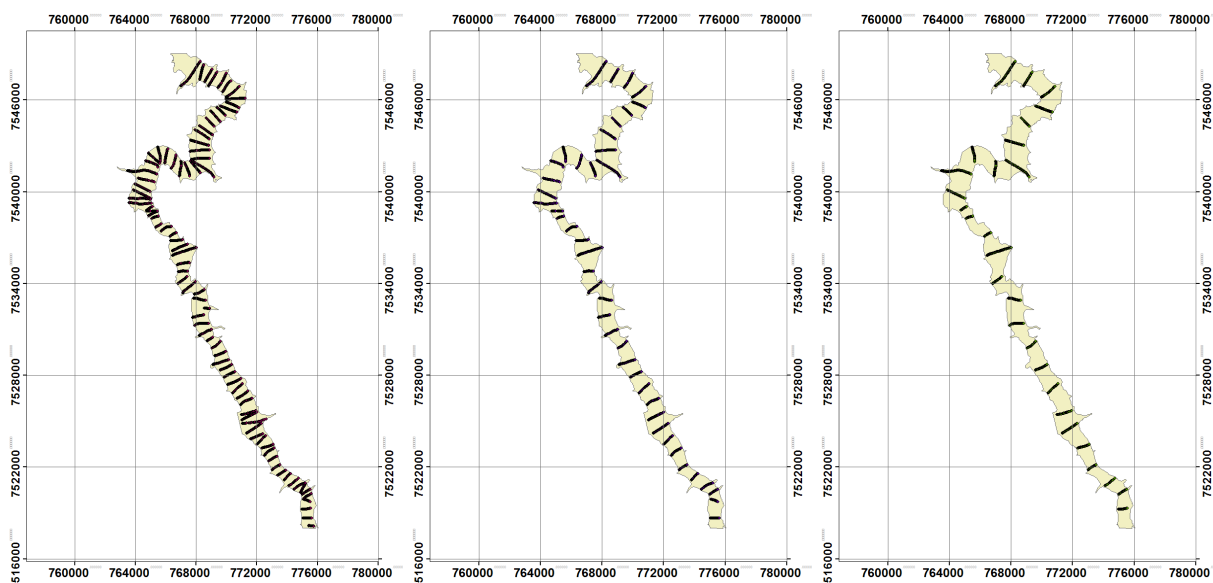


Figura 7 – Diferentes espaçamentos entre os transectos para o reservatório de Bariri (adaptado), de 500m em 500m (à esquerda), 1000m em 1000m (ao centro), 1500m em 1500m (à direita).

2.3. Reservatório de Ibitinga

O reservatório de Ibitinga (figura 8), localizado no rio Pardo-SP, entrou em operação em 1958 e tem uma potência total de 32 MW. Abrange uma área de 3,3km² e um volume de 34,13x10⁶ m³.

A mesma metodologia utilizada para o reservatório de Bariri, foi utilizada neste reservatório. os espaçamentos entre as seções foram de 500m em 500m, de 1000m em 1000m e 1500m em 1500m como mostrado na figura 9. O levantamento original também foi modificado e a comparação do volume se deu com o nível máximo do reservatório.



Figura 8 – Barragem do reservatório de Bariri (Disponível em <http://www.aestiete.com.br/usinas/Paginas/Ibitinga.aspx>).

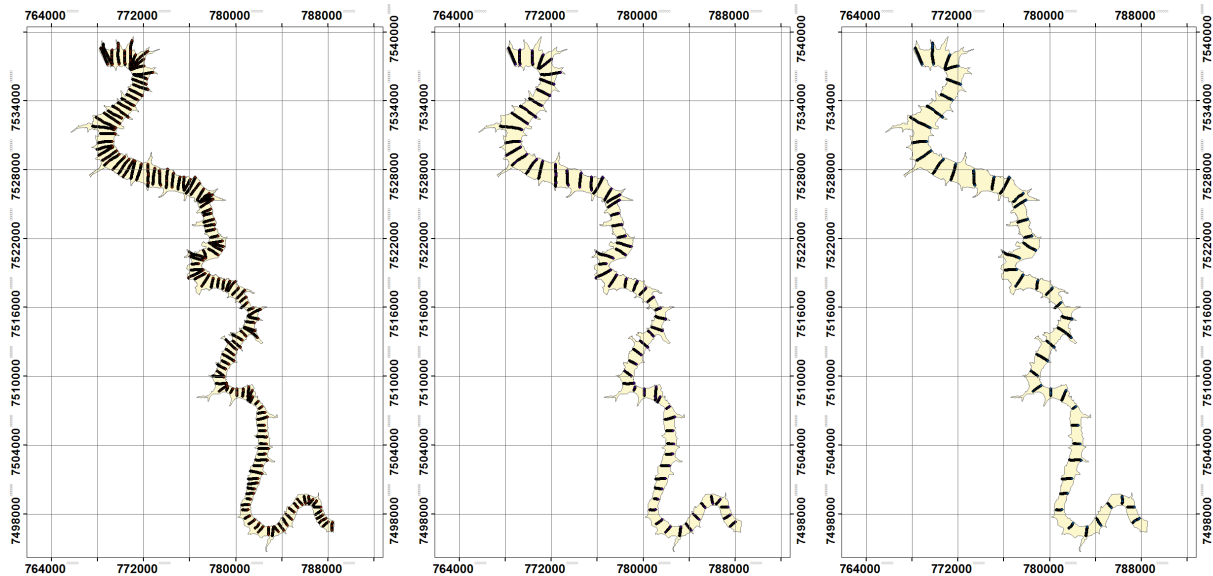


Figura 9 – Diferentes espaçamentos entre os transectos para o reservatório de Ibitinga (adaptado), de 500m em 500m (à esquerda), 1000m em 1000m (ao centro), 1500m em 1500m (à direita).

2.4. Modelagem

Nos casos de relevos mais complexos como é o caso da representação de um fundo de vale ou de reservatório é aconselhado a modelagem através de uma TIN (do inglês Triangular Irregular Network). Vários são os modelos para a geração de um TIN, o mais amplamente utilizado é a triangulação de Delaunay. Segundo FELGUEIRAS, C. A. & GOODCHILD, M. F. (1995), KIDNER, D. B. et al (2000), TSAI (1993) apud VIVONI, E. R. et al (2005), entre outros, a utilização da Constrained Delaunay Triangulation permite uma melhor representação de feições como fundos de vale, drenagens, divisores de água e feições mais agudas, sendo esta metodologia utilizada para a melhor representar o relevo do canal do leito do rio submerso no reservatório.

Como todos os softwares de Sistema de Informação Geográfica (SIG), o Idrisi 32 possui inúmeras potencialidades para tratamento de dados espaciais e análise ambiental, como sobreposição de cartas, operações booleanas, banco de dados georreferenciados, etc., porém para estudos batimétricos poucas de suas potencialidades são utilizadas, sendo utilizadas somente ferramentas de modelagem 3D.

O ArcGis10 é também conhecido como uma das melhores ferramentas em geoprocessamento. Foi utilizada, neste trabalho, para calcular os volumes para os diferentes distanciamentos dos transectos nos reservatórios de Bariri e Ibitinga

A escolha de dois diferentes softwares de geoprocessamento teve o objetivo de verificar a funcionalidade e ferramentas de cada um na modelagem do terreno e cálculos de volume.

Nos dois casos foi verificado que em alguns pontos da triangulação das seções com as bordas não representavam o terreno real. Foi então definido um procedimento para minimizar estes erros, gerando-se uma malha de pontos intermediários entre os transectos antes da triangulação com as bordas.

3. RESULTADOS

3.1. Reservatório do Lobo

Foi gerado pelo software Idrisi um modelo digital de terreno (MDT) para cada uma das batimetrias, mostrados nas figuras 10.

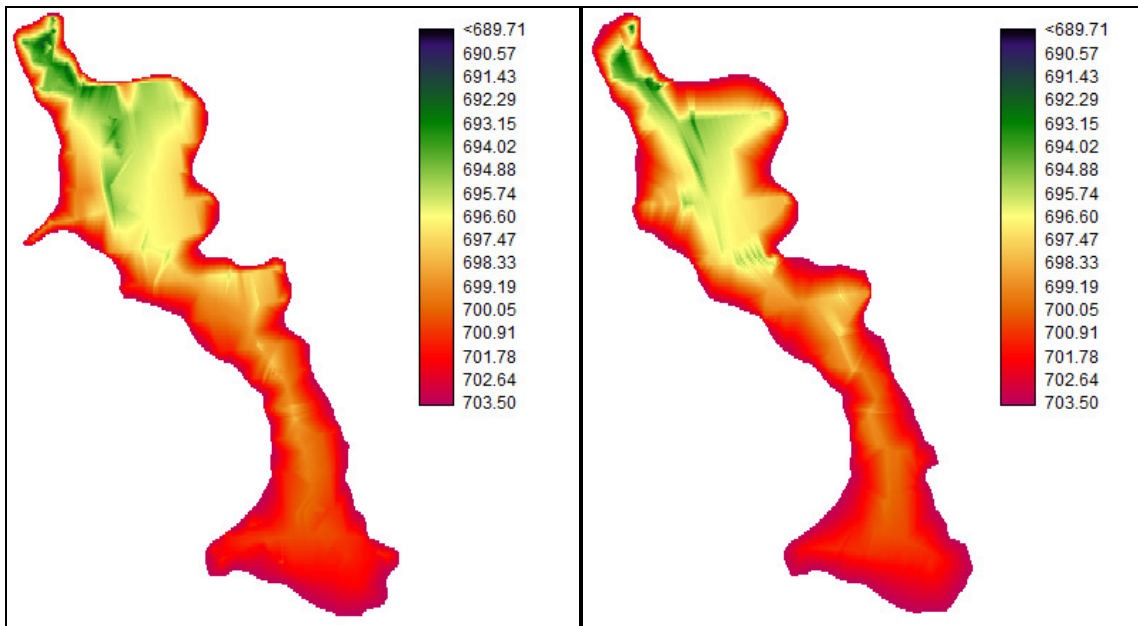


Figura 10 – Modelo digital de terreno gerado a partir do levantamento batimétrico de 2004 (à esquerda) e 2007 (à direita) – (legenda: cotas em metros)

A partir do modelo digital de terreno foram calculadas as curvas Cota x Área e Cota x Volume das duas batimetrias, como mostrado nos gráficos 1 e 2, e comparando-se os volumes foi calculado o assoreamento do reservatório, resultando em mais de 20%.

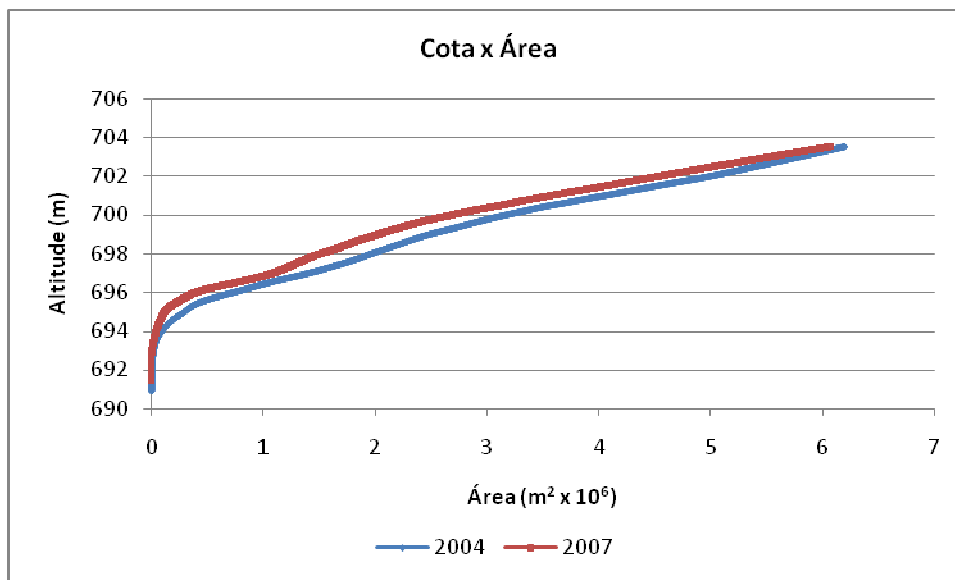


Gráfico 1 – Comparação das Curvas Cota x Área das batimetrias de 2004 e 2007

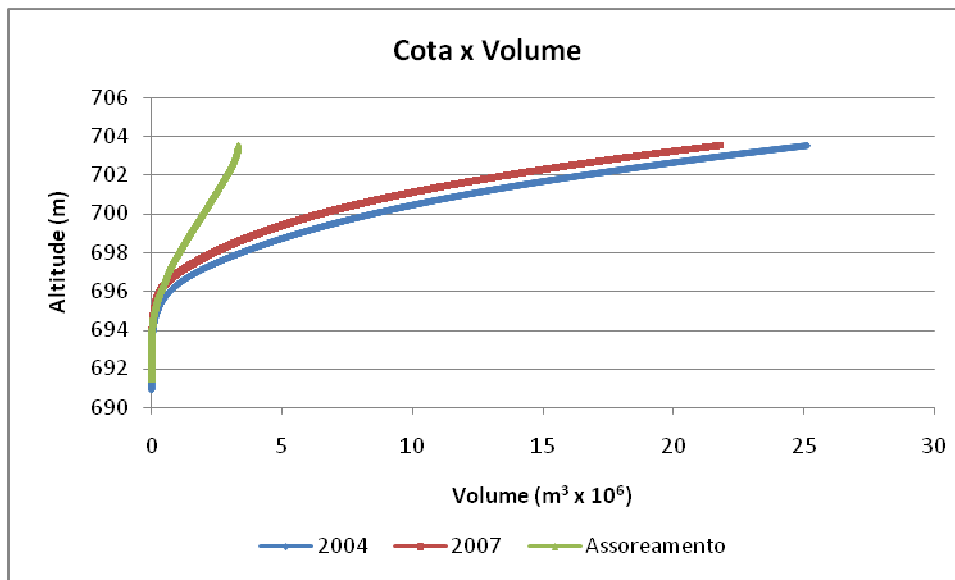


Gráfico 2 – Comparação das Curvas Cota x Volume das batimetrias de 2004 e 2007 e curva Cota x Volume Assoreado

3.2. Reservatório de Bariri

Foi gerado para o reservatório de Bariri, com o auxílio do softwares Arcgis 10, os modelos digitais de terreno a partir das batimetrias com diferentes espaçamentos: 500m em 500m (figura 11 – à direita), de 1000m em 1000m (figura 11 – ao centro) e 1500m em 1500m (figura 11 – à esquerda). Onde podemos observar as diferenças entre as topografias geradas para cada caso, o que geram perdas de qualidade nos dados finais, e conseqüentemente perda de volume, mostrados na tabela 2.

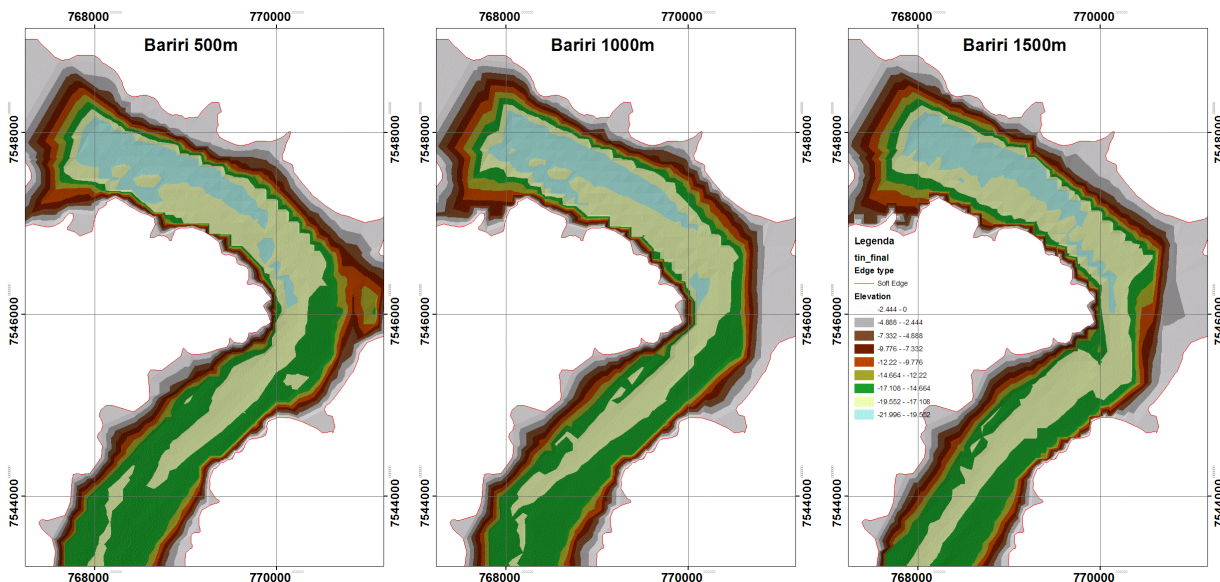


Figura 11 – Modelos digitais de terreno gerado para diferentes espaçamentos entre os transectos para o reservatório de Bariri (adaptado), de 500m em 500m (à esquerda), 1000m em 1000m (ao centro), 1500m em 1500m (à direita).

A diferença entre os casos 1, 2 ou 3 para os mesmos espaçamentos evidenciados na tabela 2 são relacionados à disposição entre as seções transversais. Com a batimetria de 500m em 500m foi possível gerar dois casos de 1000m em 1000m e três casos de 1500m em 1500m.

Pode-se observar que o distanciamento e a disposição dos transectos influenciam bastante no cálculo do volume. Observa-se uma perda considerável de volume que chega até 15,3% do volume calculado para o

distanciamento de 500m. Comparando-se o distanciamento 1000 (caso 2) com 1500 (caso 1) nota-se que a variação do volume é bem próxima, sendo que o distanciamento 1500 (caso 1) é um pouco melhor.

Tabela 2 – Variação do volume calculado para os diferentes distanciamentos entre os transectos para o reservatório de Bariri.

Reservatório	Distanciamento entre os transectos (m)	Varição do volume calculado (%)
Bariri	500	0.0%
Bariri	1000 (Caso 1)	-3.3%
Bariri	1000 (Caso 2)	-7.4%
Bariri	1500 (Caso 1)	-6.7%
Bariri	1500 (Caso 2)	-10.6%
Bariri	1500 (Caso 3)	-15.3%

3.3. Reservatório de Ibitinga

Na figura 12 são mostrados os modelos digitais de terreno do reservatório de Ibitinga, gerados a partir do Arcgis10, para as batimetrias com diferentes espaçamentos: 500m em 500m (figura 12 – à direita), de 1000m em 1000m (figura 12 – ao centro) e 1500m em 1500m (figura 12 – à esquerda). Onde podemos observar as diferenças entre as topografias geradas para cada caso, o que geram perdas de qualidade nos dados finais, e conseqüentemente perda de volume, mostrados na tabela 3.

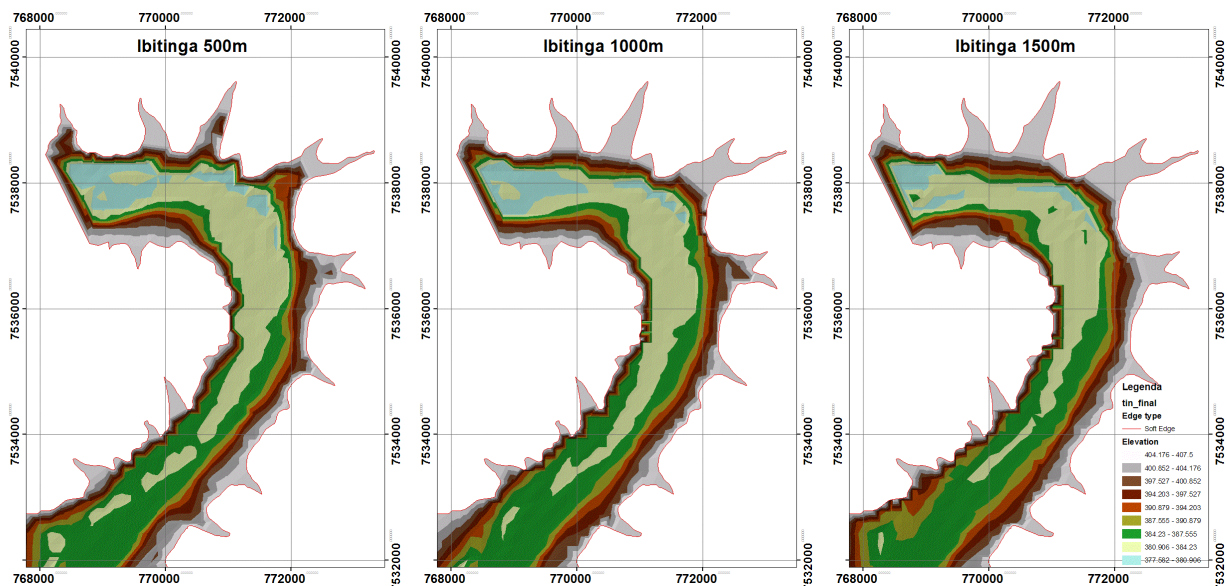


Figura 12 – Modelos digitais de terreno gerado para diferentes espaçamentos entre os transectos para o reservatório de Ibitinga (adaptado), de 500m em 500m (à esquerda), 1000m em 1000m (ao centro), 1500m em 1500m (à direita).

A tabela 3 nos mostra, outra vez, que a disposição dos transectos é importante na melhor representação da topografia do reservatório. O distanciamento 1000 (caso 2) comparado com o distanciamento 500 teve uma perda de somente 0,6% de volume.

Neste caso a maior perda de volume foi para o distanciamento 1500 (caso 1) onde se obteve uma perda de 5,7% com relação ao distanciamento original de 500m.

Tabela 3 – Variação do volume calculado para os diferentes distanciamentos entre os transectos para o reservatório de Bariri.

Reservatório	Distanciamento entre os transectos (m)	Variação do volume calculado (%)
Ibitinga	500	0.0%
Ibitinga	1000 (Caso 1)	-3.0%
Ibitinga	1000 (Caso 2)	-0.6%
Ibitinga	1500 (Caso 1)	-5.7%
Ibitinga	1500 (Caso 2)	-1.9%
Ibitinga	1500 (Caso 3)	-5.4%

3.4. Melhorias na triangulação

O procedimento desenvolvido, de geração de uma malha de pontos internos entre os transectos, foi necessário para evitar alguns “buracos” gerados na formação dos triângulos entre as bordas e os transectos mostrados na figura 13 (à esquerda). Essas triangulações geram faces que não condizem com a topografia do terreno. Na figura 13 (à direita) pode-se observar uma melhora considerável na qualidade do resultado final, mostrando uma topografia mais adequada do reservatório. Essa metodologia foi aplicada somente na batimetria em paralelo, para Bariri e Ibitinga.

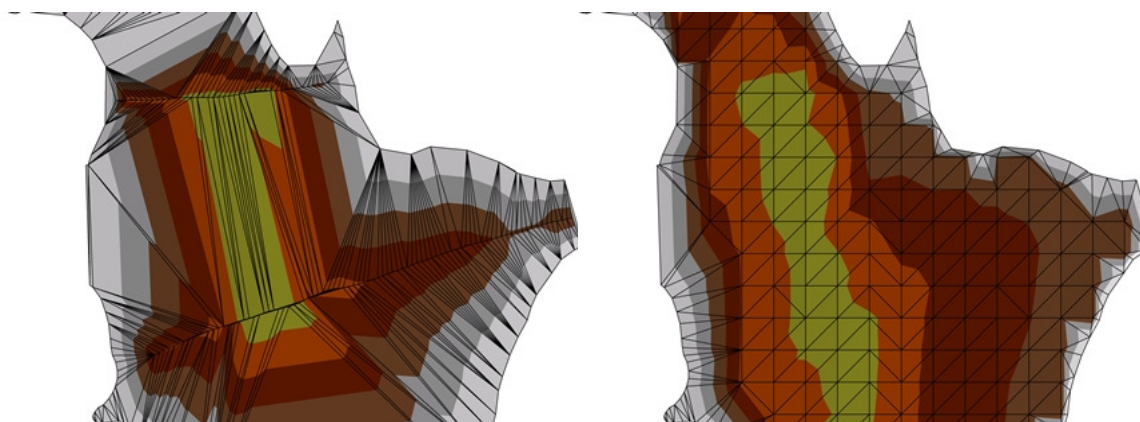


Figura 13 – Detalhes dos modelos digitais de terreno e TIN gerados para o reservatório de Bariri com espaçamento entre os transectos 1000m em 1000m, sem a malha de pontos internos (à esquerda) e com a malha de pontos (à direita).

4. CONCLUSÃO

4.1. Batimetria em Zig-Zag

Como podemos observar nos gráficos 1 e 2, o volume assoreado do reservatório foi muito alto e levando-se em consideração que o reservatório foi construído em 1936, e uma taxa de assoreamento elevada como a calculada, acarretaria que o reservatório já estivesse totalmente assoreado.

Conclui-se, então, que a metodologia utilizada na segunda batimetria, não gerou bons resultados pela falta transectos e/ou pela má distribuição destes, o que acarretou perdas de informação em certas áreas do reservatório, que se podem observar claramente nos MDTs gerados.

Para que não ocorram erros na batimetria, não se devem deixar grandes áreas descobertas, neste caso, durante a triangulação o software conecta uma margem na outra, o que acarreta em perda de área e

conseqüentemente em perda de volume. Outro setor do reservatório que deve ser observado com cuidado são as entradas de tributários, onde também podem ocorrer erros durante a triangulação.

4.2. Batimetria em Paralelo

Nos casos estudados, comparando-se os espaçamentos dos transectos de 500m para 1500m, o volume calculado atingiu uma variação 5,4% Ibitinga e de 15,3% para Bariri. Isso demonstra que a variação do distanciamento entre as seções pode vir a apresentar variações significativas nos resultados.

A disposição dos transectos também teve um papel relevante na variação do volume. No caso de Ibitinga, a disposição de 500m em 500m comparada com a disposição de 1000m em 1000m (caso 2), teve uma variação muito pequena, de 0,6%, de perda de volume.

Conclui-se que, com mais estudos específicos sobre levantamento batimétricos será possível avaliar uma melhor disposição e distanciamento entre os transectos para um determinado reservatório. Deste modo pode-se chegar a uma melhor relação custo-benefício, direcionando melhor o trabalho de campo e gerando uma curva cota-área-volume que represente melhor o estado real do reservatório.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRANCO, S.M.; ROCHA, A. A., *Poluição, Proteção e Usos Múltiplos de Represas*, Editora Edgard Blucher/CETESB, São Paulo, 1977.

CARVALHO, N.O. (1994). *Hidrossedimentologia Prática*, CPRM – Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais. Rio de Janeiro-RJ.

CARVALHO, *et al*, *Guia de avaliação de assoreamento de Reservatórios*. Brasília: ANEEL. 140p. 2000.

EMMERICH, W.; MARCONDES, M.A.P. (1975). *Algumas Características do Manejo de Bacias Hidrográficas*. São Paulo. (Boletim técnico IF).

FELGUEIRAS, C. A. & GOODCHILD, M. F., *An Incremental Constrained Delaunay Triangulation*, Technical Report 95-2, National Center for Geographic Information and Analysis, Califórnia, EUA, 1995

HANCOCK, G. R. *The use of digital elevation models in the identification and characterization of catchments over different grid scales*, Hydrological Processes, Vol 19, 2005.

KIDNER, D. B. *et al*, *Multiscale Terrain and Topographic Modelling with the Implicit TIN*, Transactions in GIS, 2000.

SIMONS, D.B. & SENTURK, F. (1992). *Sediment transport technology: Water and sediment dynamics*. Denver, Colorado, Water Resources Publications. 897p.

TUNDISI, J. G., *Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez*, São Carlos: RiMa. IIE, 2003.

VIVONI, E. R. *et al*, *On the effects of triangulated terrain resolution on distributed hydrologic model response*, Hydrological Processes, Vol. 19, 2005.

YANG, C. T. *et al*, *Reclamation. Managing Water in the West: Erosion and Sedimentation Manual*, U. S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver – Colorado, 2006.

<http://www.ilec.or.jp/database/sam/dsam01.html> Acessado em 4/6/2009.

<http://www.aestiete.com.br> Acessado em 01/06/2011.