

COMPARAÇÃO DE DIFERENTES BATIMETRIAS DO RESERVATÓRIO DA USINA HIDROELÉTRICA DO LOBO

*Marcus Vinicius Estigoni¹; Artur José Soares Matos²; Victor Pioltine³; Liliane Lazzari Albertin⁴;
Frederico Fábio Mauad⁵*

RESUMO --- O presente trabalho tem como objetivo a comparação de diferentes metodologias de levantamentos batimétricos realizados no reservatório da usina hidroelétrica do Lobo através da utilização de ferramentas de SIG. A partir de duas batimetrias realizadas, uma em 2004 e outra em 2007, foram gerados modelos digitais de terreno (MDT) e foram calculadas as curvas Cota x Área x Volume e calculado o assoreamento do reservatório. Analisando os MDT's e o assoreamento concluiu-se 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.

ABSTRACT --- This work aims to compare the different methodologies of bathymetric surveys conducted in the reservoir of the hydroelectric plant Lobo through the use of tools of GIS. Whereas two bathymetry made, one in 2004 and another in 2007, were generated a digital terrain models (DTM) and the curves were calculated Stage x Area x Volume and calculated the sedimentation of the reservoir. Analyzing the MDT's and sedimentation concluded that the methodology used in the second bathymetry, has not generated positive results by lack transects and / or by poor distribution, which led to loss of information in certain areas of the reservoir.

Palavras Chave: Batimetria, Assoreamento, Reservatório.

Keywords: Bathymetry, sedimentation, Reservoir.

1) Mestrando em Ciências da Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP. Avenida Trabalhador São-carlense 400 – Centro. Cep 13566-590, São Carlos/SP. E-mail: mv.estigoni@gmail.com

2) Doutorando em Ciências da Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP. Avenida Trabalhador São-carlense 400 – Centro. Cep 13566-590, São Carlos/SP. E-mail: arturjmatos@gmail.com

3) Mestrando em Ciências da Engenharia Ambiental pela Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP. Rua Marechal Deodoro 1416 – Centro. Cep 13560-200, São Carlos/SP. E-mail: vpioitine@yahoo.com.br

4) – Pós-Doutoranda em Ciências da Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP. Avenida Trabalhador São-carlense 400 – Centro. Cep 13566-590, São Carlos/SP. E-mail: lilianeazzari@hotmail.com

5) Professor Doutor do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP. Avenida Trabalhador São-carlense 400 – Centro. Cep 13566-590, São Carlos/SP. E-mail: frederico.mauad@pq.cnpq.br

1. INTRODUÇÃO

Há muito a sociedade brasileira mostra preocupação com os recursos hídricos, sendo a primeira legislação datada de 1934, o “Código das Águas”, porém o setor hídrico se mostra em fase de desenvolvimento, sendo que somente a partir de 1997, com a criação da “Política Nacional de Recursos Hídricos, foi incorporado 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.

Devido a recente legislação e novos padrões para gerenciamento muitas metas propostas ainda estão em fase de implementação, tal que o levantamento de dados hidrológicos e hidrométricos e as pesquisas na área de gerenciamento de recursos hídricos são necessárias, e considerando que o Brasil possui aproximadamente pouco mais de 10% do total mundial de água doce mostra-se a grande importância destes tipos de estudos.

Considerando certa continuidade na oferta de recurso hídrico o crescimento populacional vem a gerar a competição entre as demandas de água em suas diversas utilidades (abastecimento urbano, industrial, produção agrícola e de energia elétrica e garantia da vazão ecológica). Tal crescimento na demanda gera conflitos sobre utilização da água e, conseqüentemente, problemas para o planejamento de recursos hídricos.

Pode-se dizer que existem dois tipos de escassez hídrica, a escassez espacial em que a oferta de água está associada a sua distribuição espacial é inferior a demanda, e a escassez temporal, o qual é causado por épocas de seca. Para a resolução do segundo tipo apresentado é comum a utilização de reservatórios, armazenando a água da época chuvosa para a utilização na época de seca.

O volume de água disponível para utilização na época de seca depende da capacidade de armazenamento do reservatório, a qual é determinada previamente à sua construção por levantamentos topográficos, sendo esta capacidade de reserva utilizada como base para a gestão do reservatório. Com o passar do tempo há a alteração do relevo do fundo do reservatório, geralmente tendo como consequência a perda capacidade de armazenamento devido ao assoreamento, 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, podendo vir a gerar problemas de gestão.

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.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo a comparação de diferentes metodologias de levantamentos batimétricos realizados no reservatório da usina hidrelétrica do Lobo através da utilização de ferramentas de SIG, calcular os polinômios cata-área e cota-volume e fazer o cálculo do assoreamento.

3. 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, Bernouilli, Lagrange, Laplace, Pitot e Chézy, indo contra a teoria de que as partículas de sedimento se frecionavam 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 correspondem 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

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

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.

3.1. 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 levantados quantas seções forem necessárias para através de técnicas de modelagem 3D possa ser calculado o volume que este possui.

3.2. 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 afluyente é grande devem ser levantados com maior frequência. Por outro lado, reservatórios cuja carga sólida afluyente 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 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.

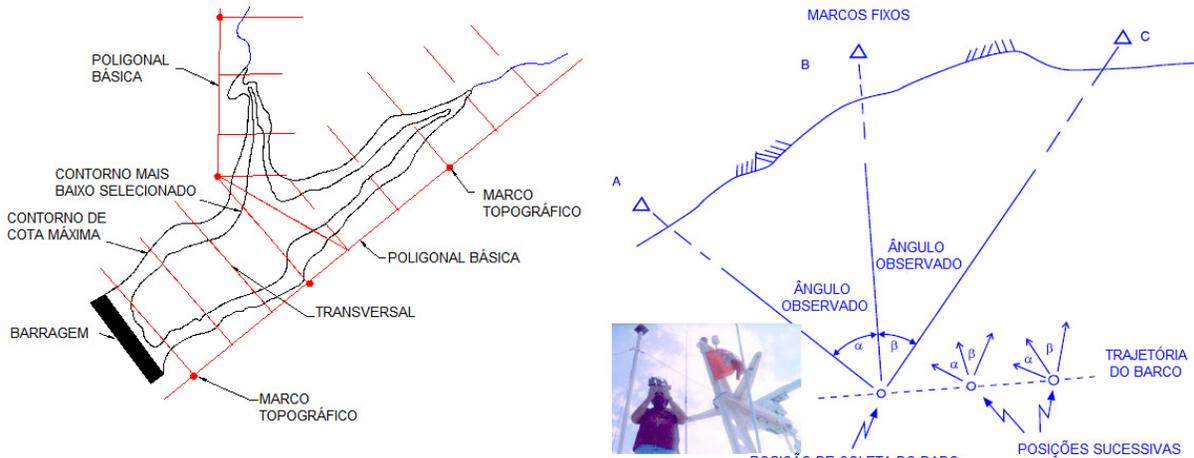


Figura 1 – Exemplo do planejamento de seções de levantamento batimétrico tradicionais (adaptado de CARVALHO 1994)

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.

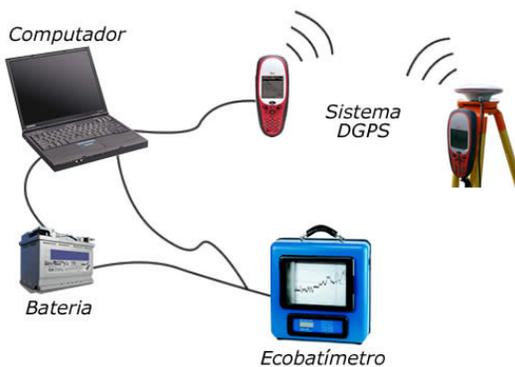


Figura 2 – Esquema da montagem dos equipamentos

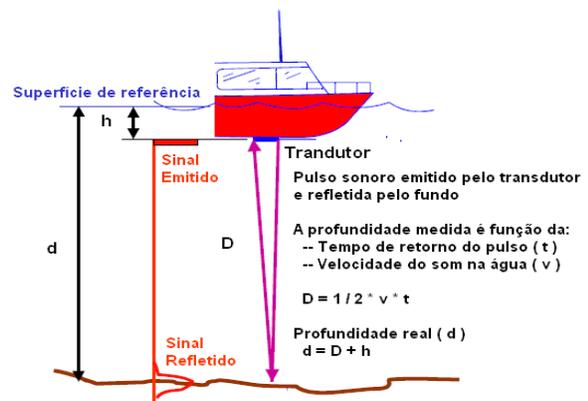


Figura 3 - princípios de funcionamento de uma sonda acústica (adaptado de Army Corps of Engineers)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Represa 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. 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 a concessionária Elektro.

É formado principalmente pelo represamento do Rio Itaqueri, Ribeirão do Lobo, Córrego do Gelado 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 aérea da Represa do Lobo e da barragem (Disponível em: <http://www.ilec.or.jp/database/sam/dsam01.html>)

4.2. Dados Batimétricos

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).

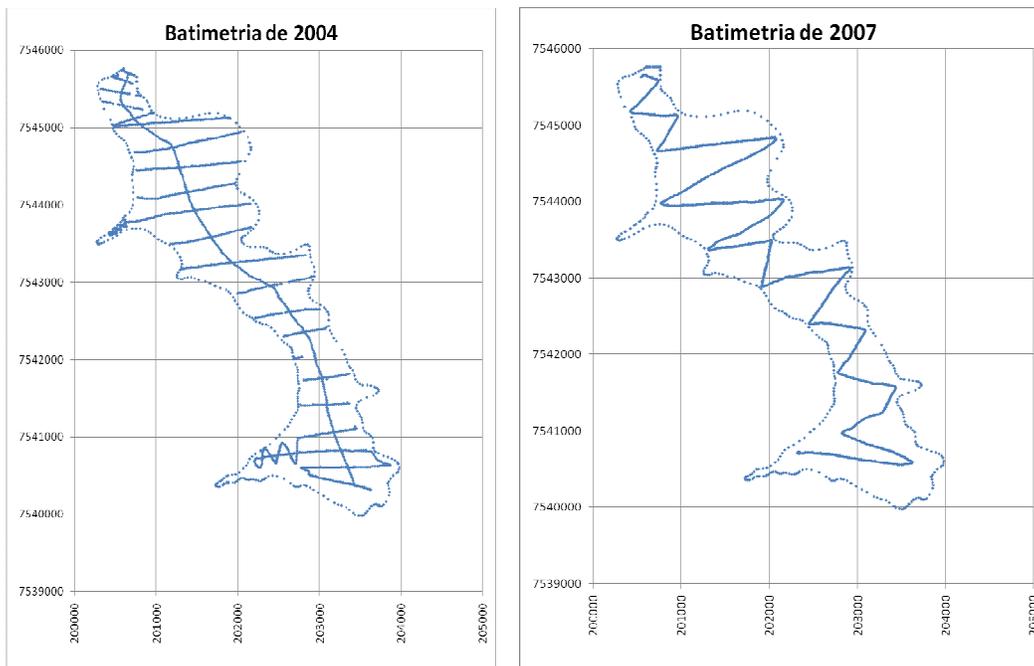


Figura 5 Batimetria do reservatório da Represa do Lobo realizada em 2004 e em 2007.

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), utilizada para medições de vazão, possui comunicação com DGPS e com sondas do tipo ecobatímetro.

4.3. Idrisi 32

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.

Em caso de relevo mais complexo 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.

5. RESULTADOS

Foi gerado pelo software Idrisi um modelo digital de terreno (MDT) para cada uma das batimetrias, mostrados nas figuras 6 e 7.

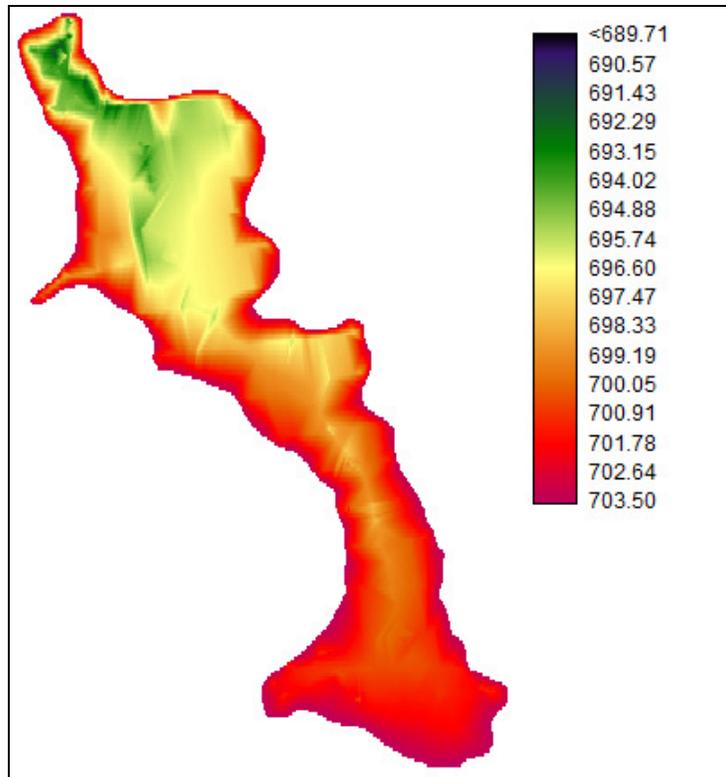


Figura 6 – Modelo digital de terreno gerado a partir do levantamento batimétrico de 2004 (legenda: cotas em metros)

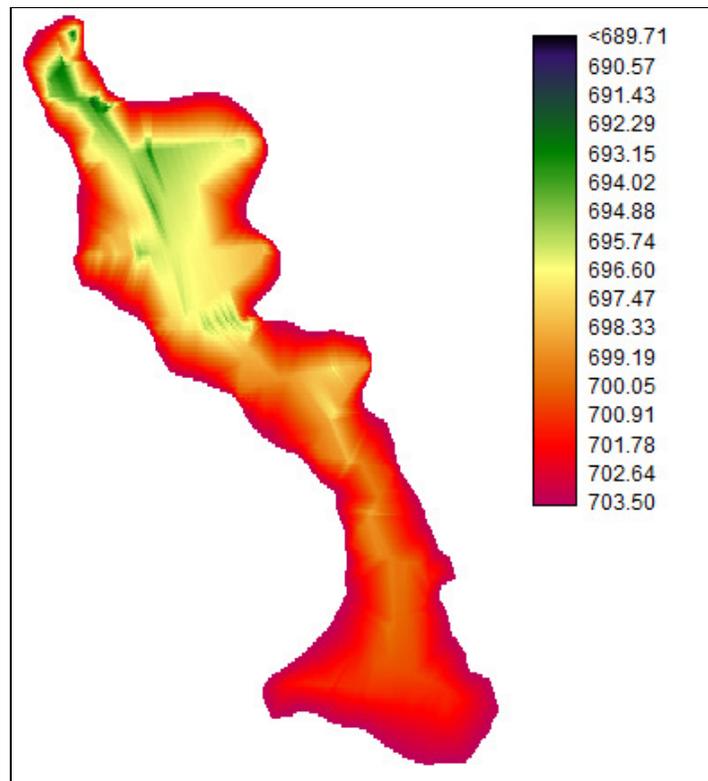


Figura 6 – Modelo digital de terreno gerado a partir do levantamento batimétrico de 2004 (legenda: cotas em metros)

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%.

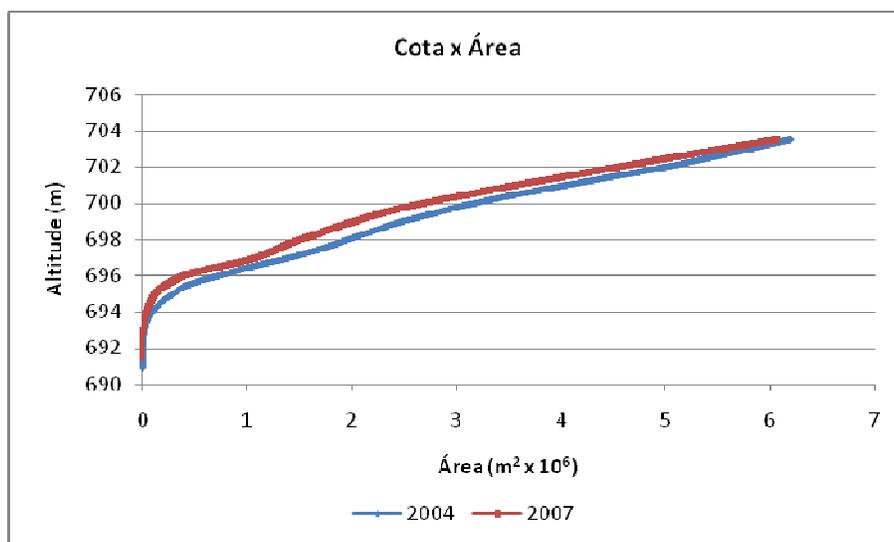


Gráfico 1 – Comparação das Curvas Cota x Área das batimetrias de 2004 e 2007

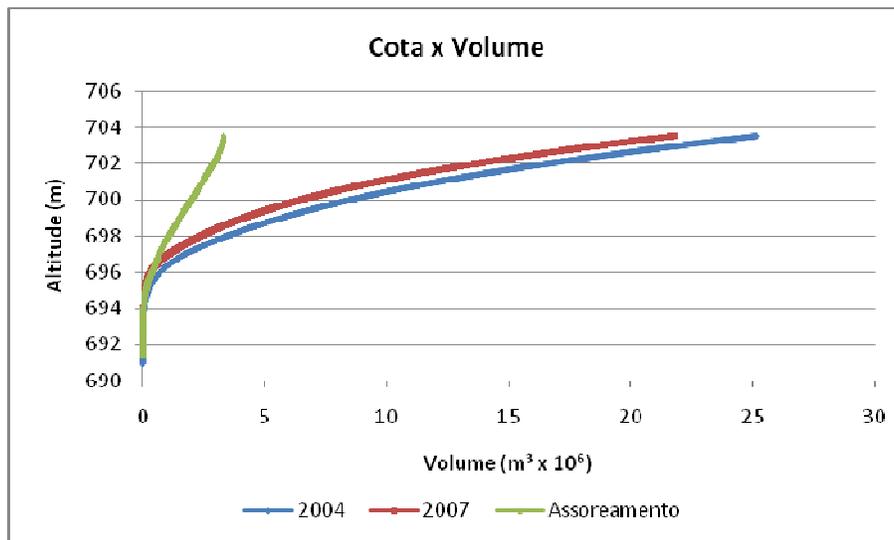


Gráfico 2 – Comparação das Curvas Cota x Volume das batimetrias de 2004 e 2007 e curva Cota x Volume Assoreado

6. CONCLUSÃO

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 pode-se observar claramente nos MDTs gerados.

Para que não ocorra erros na batimetria, não se deve 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.

7. 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.