

Figura 55 – Configuração dos parâmetros de interpolação

Como resultado da interpolação, é apresentado o gráfico mostrando a Validação Cruzada dos dados interpolados com a função de regressão, os dados preditos, os medidos e o erro quadrático médio do processo.

A Validação Cruzada é um procedimento onde cada ponto amostral “Pi” é retirado, e seu valor é predito através de um interpolador em função do restante da amostra. Essa operação é repetida para os “n” pontos amostrais, possibilitando identificar a diferença (erro) entre os valores medidos (observados) e os preditos (estimados) (BAILEY; GATRELL, 1995).

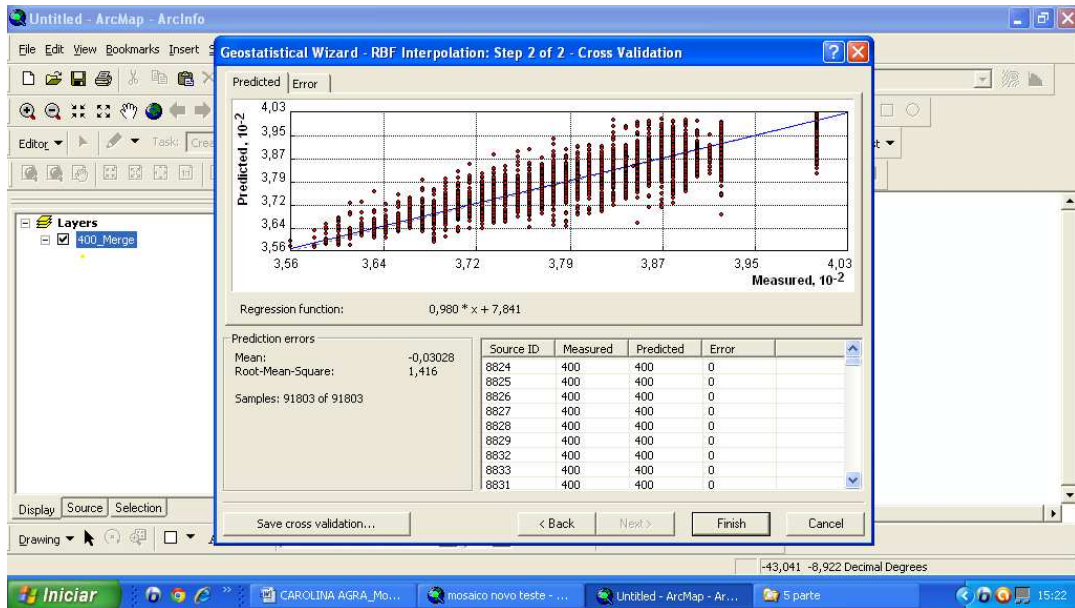


Figura 56 – Resultado da Validação Cruzada e os Valores Preditos

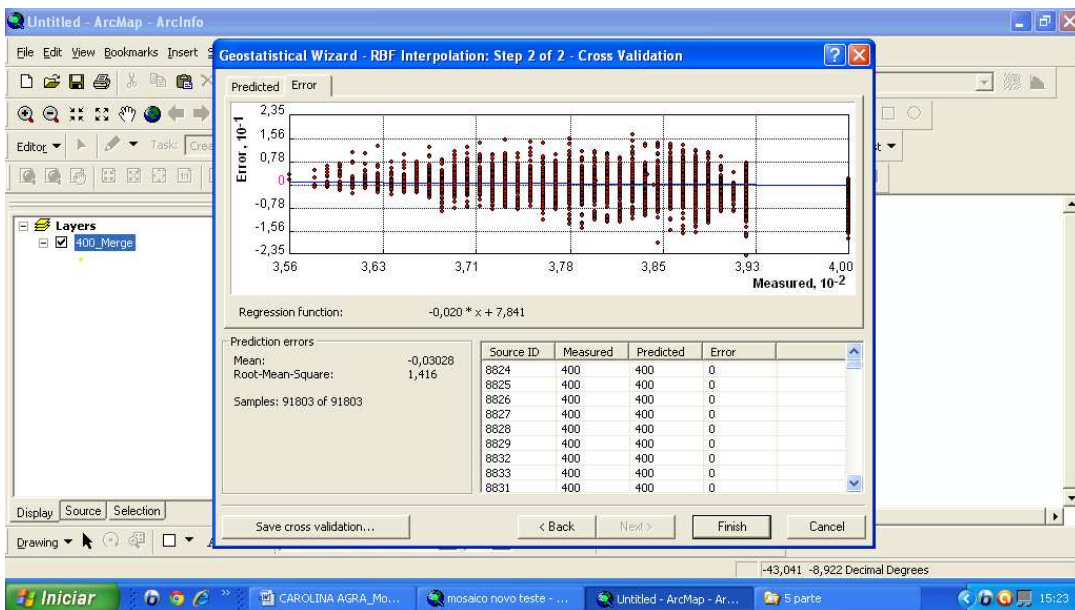


Figura 57 – Resultado da Validação Cruzada e os Valores dos Erros

De posse da superfície interpolada, a região limitada pela curva de nível 400,00 m é estimada conforme mostrado na Figura 58.

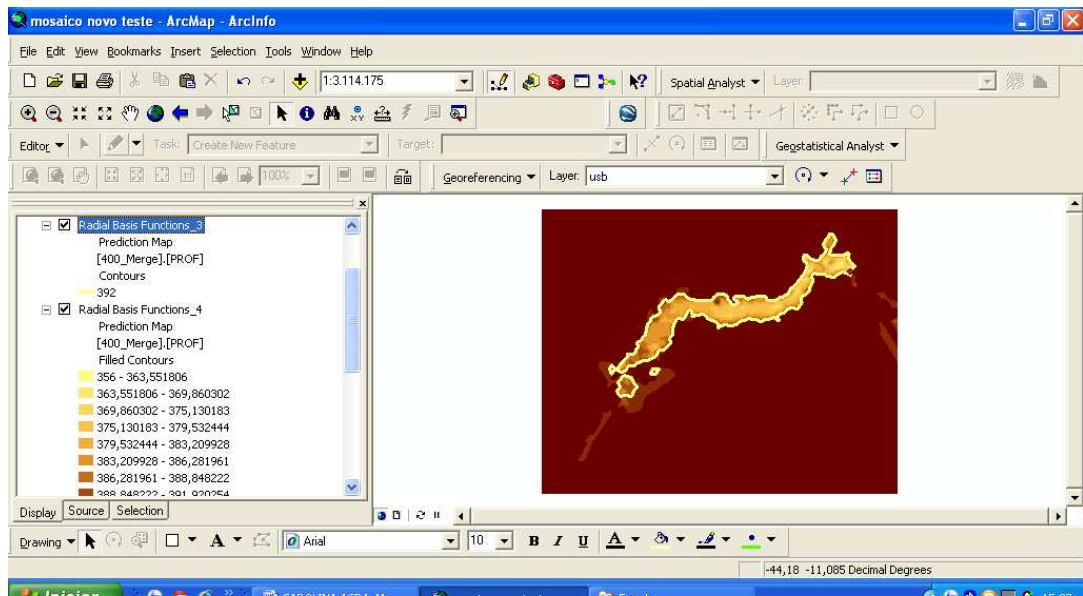


Figura 58 – Superfície interpolada com a curva de nível interpolada e correspondente à cota 392,00 m.

Observa-se que a variação dos níveis do terreno situa-se entre as cotas 356,67 m até 400,00 m, conforme a **Figura 59**.

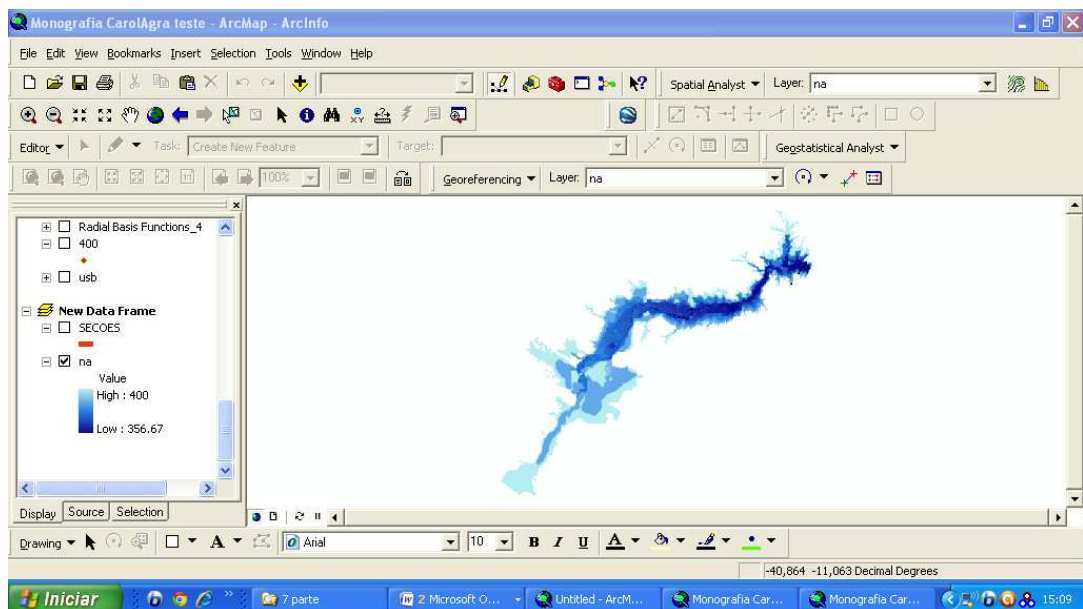


Figura 59 – Representação do espelho de água do Reservatório de Sobradinho conforme seus vários níveis de profundidade

As seções batimétricas efetuadas em 1984 não são utilizadas nessa monografia pela ausência da especificação do Sistema Geodésico de Referência empregado na época de sua definição. Assim, foram definidas, visualmente, 07 novas seções batimétricas, diretamente sobre o modelo bidimensional, agora com Sistema Geodésico de Referência definido, em locais aproximados aos das seções batimétricas de 1984, conforme mostrado na **Figura 60**.

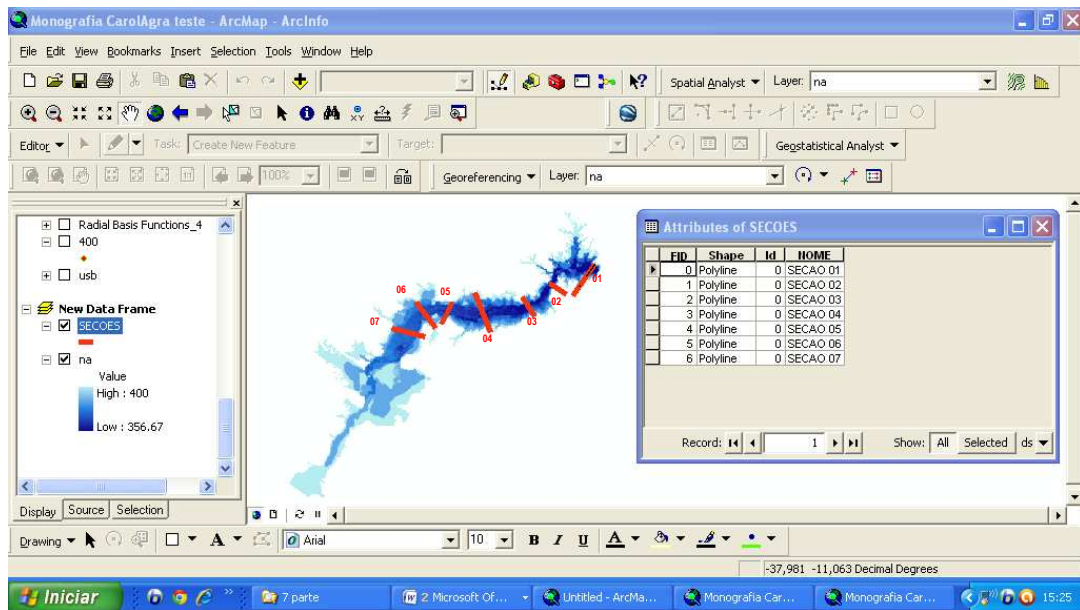


Figura 60 – Espelho de água do Reservatório de Sobradinho com suas seções transversais

12. ELABORAÇÃO DOS PERFIS REFERENTES ÀS SEÇÕES BATIMÉTRICAS AO LONGO DO RESERVATÓRIO DE SOBRADINHO

Sobre o modelo gerado de variação do nível do terreno do Reservatório da UHE de Sobradinho são plotadas 07 seções batimétricas em estudo nessa monografia. Na extensão <3D Analyst>, escolhe-se a opção <Interpolate Line> onde é desenhada a linha da seção para se obter o seu perfil. Posteriormente, aciona-se o comando <Create Profile Graph> onde é editado o gráfico referente ao perfil solicitado.

Esses comandos são repetidos para todas as 07 seções desenhadas, e uma de suas utilidades é a modelagem hidráulica. Nas **Figuras 61 (a, b, c, d, e, f, g)** são apresentados os perfis das seções batimétricas definidas no Reservatório de Sobradinho, resultantes da batimetria efetuada no ano de 2009.

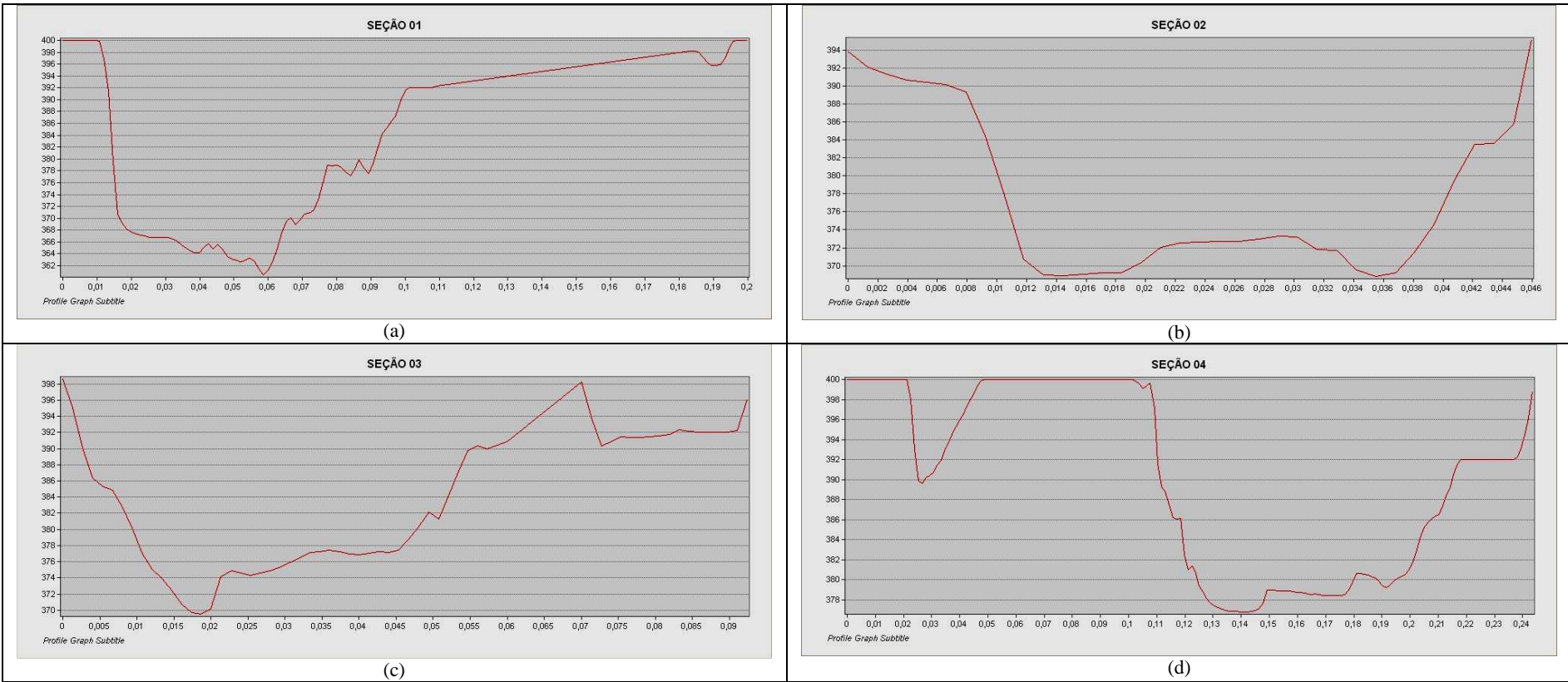
Observa-se que as seções desenhadas estão definidas no intervalo de cotas entre 360,00 e 400,00 metros. As seções foram desenhadas da esquerda para direita no sentido da vazão do rio.

Com o perfil de cada seção batimétrica é possível estimar o volume do reservatório para os vários níveis de cota. São apresentadas as distâncias aproximadas entre cada seção batimétrica e o barramento do Reservatório de Sobradinho distam seguindo o eixo do rio.

Quadro 06 – Distância Aproximada da Seção Transversal ao Barramento da UHE de Sobradinho

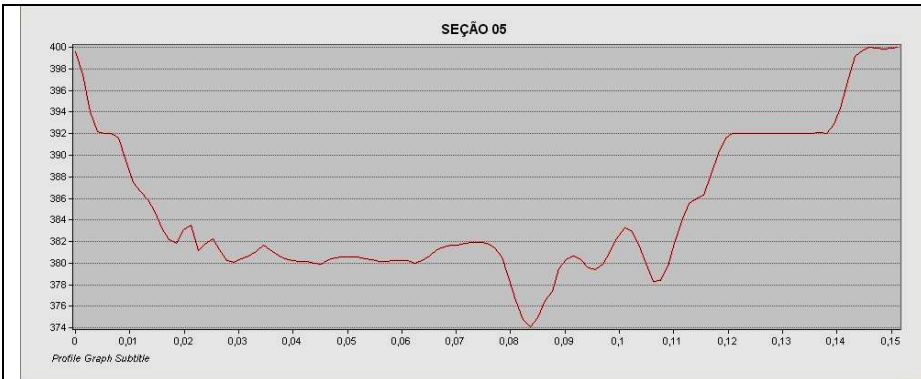
SEÇÃO	EXTENSÃO A PARTIR DO BARRAMENTO DE SOBRADINHO	PERFIL
01	6,35 km	a
02	43,25 km	b
03	69,63 km	c
04	107,36 km	d
05	135,25 km	e
06	154,16 km	f
07	174,08 km	g

Com essas seções espacialmente definidas, é possível, o monitoramento de seus perfis, ao longo dos anos.



Figuras 58 a, b, c, d, e, f, g – Perfil das seções batimétricas no Reservatório de Sobradinho definidas no levantamento de campo realizado no ano de 2009 (Unidade de mapa é decimal de grau, então o eixo X no perfil das seções longitudinais é definido em decimal de grau)

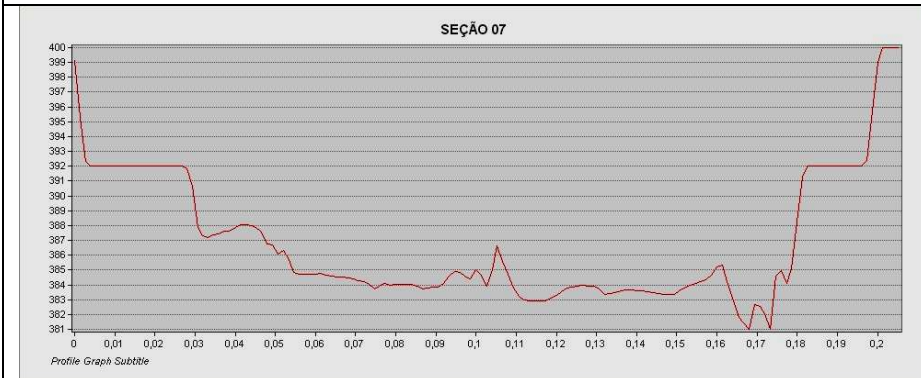
(Continuação)



(e)



(f)



(g)

Figuras 58 a, b, c, d, e, f, g – Perfil das seções batimétricas no Reservatório de Sobradinho definidas no levantamento de campo realizado no ano de 2009 (Unidade de mapa é decimal de grau, então o eixo X no perfil das seções longitudinais é definido em decimal de grau)

13. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho definiu a superfície submersa do Reservatório de Sobradinho a partir de um levantamento batimétrico executado em 2009. De posse dos dados de batimetria do reservatório, inicialmente o sistema de coordenadas foi transformado de *WGS84* para Córrego Alegre, que é o Sistema Geodésico utilizado nesta monografia.

Em seguida, como o levantamento batimétrico é procedido até a cota 392,50 m, cota máxima operativa normal do Reservatório de Sobradinho, é adotado como valor de cota máxima a curva de 400,00 m, onde esta é considerada curva limite da bacia hidráulica que foi delimitada pela interpolação realizada pelo Modelo Digital do Terreno.

A curva de nível de 400,00 m é digitalizada em tela a partir do mosaico das cartas do Mapeamento Sistemático, também empregadas neste trabalho. Posteriormente, a referida curva de nível é discretizada transformando-a em pontos tridimensionais, onde todos os pontos têm a mesma altitude, 400,00 m.

Para proceder à interpolação dos dados para elaboração do Modelo Digital do Terreno é necessária a junção da tabela dos pontos tridimensionais referentes à curva de nível de 400,00 m com a tabela dos pontos tridimensionais resultantes da batimetria.

A interpolação dos pontos tridimensionais é realizada através do método *Radial Basis Functions*, utilizando como atributo de modelagem a **Profundidade** coletada no reservatório.

A Função de Base Radial corresponde a um grupo de interpoladores chamados *Splines* que produzem superfícies suaves. O princípio das *Splines* é minimizar a curvatura total da superfície, garantindo-se que a mesma contenha os pontos amostrais, configurando-se como um interpolador Exato.

Como resultado da interpolação, é apresentado o gráfico mostrando a Validação Cruzada executada dos dados interpolados com a função de regressão, os dados preditos, os medidos e o erro quadrático médio do processo. A Validação Cruzada é um procedimento onde cada ponto amostral “Pi” é retirado, e seu valor é predito através de um interpolador em função do restante da amostra.

Sobre o modelo gerado de variação do nível do terreno do Reservatório da UHE de Sobradinho são plotadas as 07 seções batimétricas, em estudo por essa monografia, devidamente georeferenciadas. O fato de essas seções estarem espacialmente identificadas viabiliza, periodicamente, que possam ser comparados os resultados com outros levantamentos batimétricos na mesma localização resultando em análises que contribuem para estudos de transporte de sedimentos no Reservatório de Sobradinho.

A utilização de técnicas em gabinete, neste caso pelo uso de métodos de interpolação, obedecendo a critérios matemáticos, cartográficos, estatísticos e legais, é confiável, e seus erros não comprometem a qualidade exigida pelo modelo de interpolação e, portanto, não diferindo seus resultados da amostra original. Conclui-se também que o uso de interpoladores pode ser aplicado com economia de tempo e de recursos investidos. Essa seqüência de procedimentos apresentada pode ser repetida para outras áreas, de forma que sejam adequados os métodos de interpolação que melhor se adaptem à região em estudo.

Contudo, recomenda-se a observação dos seguintes aspectos visando aperfeiçoar os procedimentos adotados para a geração de Modelos Numéricos de Elevação:

- Bases cartográficas catalogadas em sistemas de referências únicos, ou pelo menos uniformizados, seguindo o padrão oficial do país, de modo que seus dados sejam integrados de forma direta e com menos erros associados. Destaca-se a importância e imperiosa necessidade de, em projetos de engenharia, se trabalhar em Sistemas Geodésicos únicos e conhecidos no âmbito de um mesmo projeto;
- Organização da base cartográfica sob forma de níveis de informação, permitindo que as feições dos dados sejam modeladas facilmente;
- Realização de outros levantamentos batimétricos para composição de um histórico do comportamento das seções transversais aqui definidas, podendo ainda assim ser definidas outras mais caso sejam necessárias. A frequência com que são realizados os levantamentos depende de vários fatores, sendo os principais o armazenamento do reservatório e a quantidade possível de depósito de sedimento devido à carga sólida do rio. O **Quadro 07** apresenta a frequência desejável para levantamento batimétricos em reservatórios. A Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (CARVALHO, 2000)

definiu que para os Reservatórios do porte de Sobradinho, seja realizado levantamento a cada **dez anos**. Atualmente, a ANEEL e Agência Nacional de Águas – ANA estabeleceram uma Resolução Conjunta N° 3, datada de 10 de agosto de 2010, onde as condições e os procedimentos devem ser observados pelos concessionários e autorizados de geração de energia hidrelétrica para a instalação, operação e manutenção de estações hidrométricas visando ao monitoramento pluviométrico, limnimétrico, fluviométrico, sedimentométrico e de qualidade da água, associado aos aproveitamentos hidrelétricos.

Quadro 07 – Frequência Desejável para Levantamento Batimétricos de Reservatórios

PORTE DO RESERVATÓRIO	CLASSIFICAÇÃO EM VOLUME (x 10⁶ m³)	FREQUÊNCIA DE LEVANTAMENTO
Pequeno	< 10	Cada 2 anos
Médio	Entre 10 e 100	Cada 5 anos
Grande	> 10	Cada 10 anos

Fonte: CARVALHO, 2000.

- Disponibilização de estrutura computacional (processador, memória *RAM*, placa de vídeo, etc) com alto desempenho, processando assim o grande volume de dados do projeto;

Como resultado da experiência adquirida pela execução desse trabalho de monografia, concluímos o seguinte:

- O procedimento de georeferenciamento das cartas que compõem o Mapeamento Sistemático da SUDENE/DSG/IBGE e que englobam toda extensão do Reservatório de Sobradinho foi executado com precisão adequada para a escala do mapeamento (1/100.000). O Erro Quadrático Médio (RMS) por unidade de carta georeferenciada variou de 0,00017 a 0,00031;
- A execução deste estudo viabiliza o monitoramento da disposição dos sedimentos nos reservatórios, a partir de análise do formato que as seções transversais georeferenciadas apresentam nos levantamentos batimétricos realizados ao longo de determinado período de tempo;
- Com o resultado obtido com a execução desse estudo é possível estimar o volume do Reservatório de Sobradinho para qualquer que seja o valor de cota;
- A precisão do Modelo Digital do Terreno está em função do Levantamento Batimétrico realizado, que nesse estudo foi adotado sem testá-lo.

14. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- AGRA, 2007. *Avaliação de Interpoladores para Geração de Modelo Numérico de Elevação*. Maria Carolina da Motta Agra. Dissertação (Mestrado). Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Área de Concentração Cartografia e Sistemas de Geoinformação, 2007. Orientador: Prof. Dr. José Luiz Portugal. 91 p., Recife, 2007.
- BAILEY, Trevor C.; GATRELL, Anthony C. *Interactive Spatial Data Analysis*. Prentice Hall; Pap/Dsk edition. 1995. 432p.
- BAJJALI, William. *Model the Effect of Four Artificial Recharge Dams on the Quality of Groundwater using Geostatistical Methods in GIS Environment*, Oman. 2002. Journal of Spatial Hydrology Fall, Vol. 5, Nº. 2. Department of Biology and Earth Sciences, University of Wisconsin – Superior, Superior, WI 54880. wbajjali@uwsuper.edu. Disponível em: <<http://frontpage.uwsuper.edu/bajjali/>>.
- BRASIL, Presidência da República, Casa Civil, Subchefia de Assuntos Jurídicos. *Normas Técnicas da Cartografia Nacional*. Decreto Nº 89.817 de 20 de Junho de 1984. Publicado no Diário Oficial da União em 22/06/1984. Disponível em <www.concar.ibge.gov.br>.
- BURROUGH, Peter A.; McDONNELL, Rachael A. *Principles of Geographical Information Systems - Spatial Information Systems and Geostatistic*. New York. 1998.
- CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel; FUCKS, Suzana Druck; et. al. *Análise Espacial e Geoprocessamento*. INPE, 2004.
- CAMARGO, Eduardo Celso Gerbi; FUCKS, Suzana Druck; CÂMARA, Gilberto. *Análise Espacial de Superfícies*. INPE, 2004.
- CAMARGO, Eduardo Celso Gerbi. *Geoestatística: Fundamentos e Aplicações. Geoprocessamento em Projetos Ambientais*. INPE, 2004
- CHESF, 1997. *Relatório Básico de Ativos da Geração - Usina Hidro Elétrica de Sobradinho*. CHESF, Portaria P-046/97 de 26/06/97.
- CHIN-SHUNG YANG; SZU-PYNG KAO; FEN-BIN LEE; PEN-SHAN HUNG. *Twelve Different Interpolation Methods: A Case Study of Surfer 8.0*. National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, Feng Chia University, Taichung, Taiwan.
- ESTRADA, Leo; SAFRIET, Christine. *Advanced Techniques for Geographic Information Systems*. 2006. SPA Computer Lab. Disponível em <www.spa.ucla.edu/up206b/interpolation_methods.htm>, acesso em 25/11/2006.
- FELGUEIRAS, Carlos Alberto; CÂMARA, Gilberto. *Modelagem Numérica do Terreno*. Introdução a Ciência da Geoinformação, INPE. 2004.

JAKOB, Alberto Augusto Eichman; YOUNG, Andrea Ferraz. *Uso de Métodos de Interpolação Espacial de Dados nas Análises Sociodemográficas*. XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, Caxambú: ABEP, 2006.

LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck ...[et al.]. *Diagnóstico do Fluxo de Sedimentos em Suspensão na Bacia Araguaia-Tocantins*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, Brasília, DF: ANEEL: ANA, 2004.

MELCHIOR, Clodoaldo. *Comparativo de Resultados de Medição de Vazão pelos Métodos: Convencional e Acústico*. UDC - UNIÃO DINAMICA DE FACULDADES CATARATAS - ENGENHARIA CIVIL. Foz do Iguaçu. 2006.

NOVAES, Manoel. *Memórias do São Francisco*. Brasília. CODEVASF, 1989. 146P p.

PBHSF, 2004-2013. *Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – PBHSF*. CONTROLE DE CHEIAS, 2004-2013.

SIMÕES, Margareth Gonçalves. *Modeladores Digitais de Terreno em Sistemas de Informação Geográfica*, 1993, 167p. Dissertação de Docência em Engenharia de Sistemas e Computação, Faculdade de Engenharia de Sistemas e Computação do Rio de Janeiro.

SHIGUE, Carlos.Y. *Introdução ao Cálculo Numérico e Computacional*. 2003. Acessado em 17/08/2007.

SUDENE. *Catálogo das Cartas Topográficas do Nordeste do Brasil – Escala 1/100.000*. Diretoria de Planejamento e Orçamento, Departamento de Informações para o Planejamento, Divisão de Biblioteca. 2. Ed. Ver. Ampl. – Recife: SUDENE, 1997.

VENÂNCIO, Stenio de Souza. *Simulação Numérica Aplicada ao Assoreamento do Reservatório Represa Velha*. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental - Escola da Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2009. Orientador: Swami Marcondes Villela. 306 p.

WECHSLER, Suzanne P. *Digital Elevation Model (DEM) Uncertainty: Evaluation and Effect on Topographic Parameters*. State University of New York. College of Environmental Science and Forestry. 1999.

"O lápis, o esquadro, o papel;
o desenho, o projeto, o número:
o engenheiro pensa o mundo justo,
mundo que nenhum véu encobre"

(João Cabral de Melo Neto)



(IMAGENS DO GOOGLE)

A poesia *O engenheiro*, de João Cabral de Melo Neto, brinca com o sentido da palavra justo, ao homenagear a arquitetura e o urbanismo através de Le Corbusier. Para o poeta, Le Corbusier, o engenheiro, utiliza suas ferramentas de trabalho para recriar um mundo justo, exato, que ao mesmo tempo é desprovido de véus ou ornamentos, para tornar-se concreto, ou seja, real.

(Acessado na internet em 29/09/2011)