

Figura 26 – Cálculo do Erro Quadrático Médio (RMS) da carta Pilão Arcado

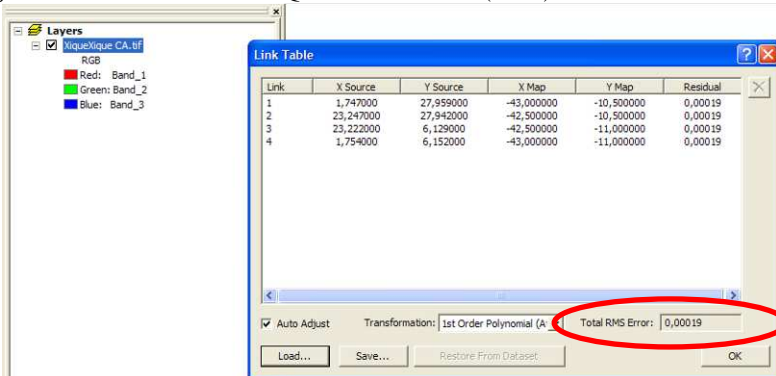


Figura 27 – Cálculo do Erro Quadrático Médio (RMS) da carta Xique-Xique

É realizada a georeferência individual por unidade de carta e define-se na <Display Area> o Sistema de Coordenadas do projeto para o Sistema *Córrego Alegre*, que é o Sistema de Coordenadas original das cartas empregadas. Na <Table of Contents>, sobre o nome do arquivo da imagem da carta sistemática em utilização, com o mouse em seu *menu* do lado direito, aciona o comando <Data>, <Export Data>, conforme Figura 28, fazendo o mesmo procedimento para todas as 10 unidades de carta.

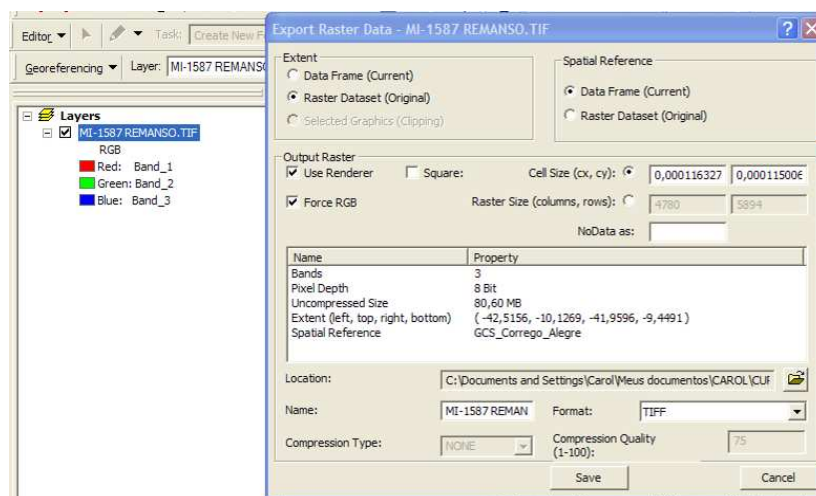
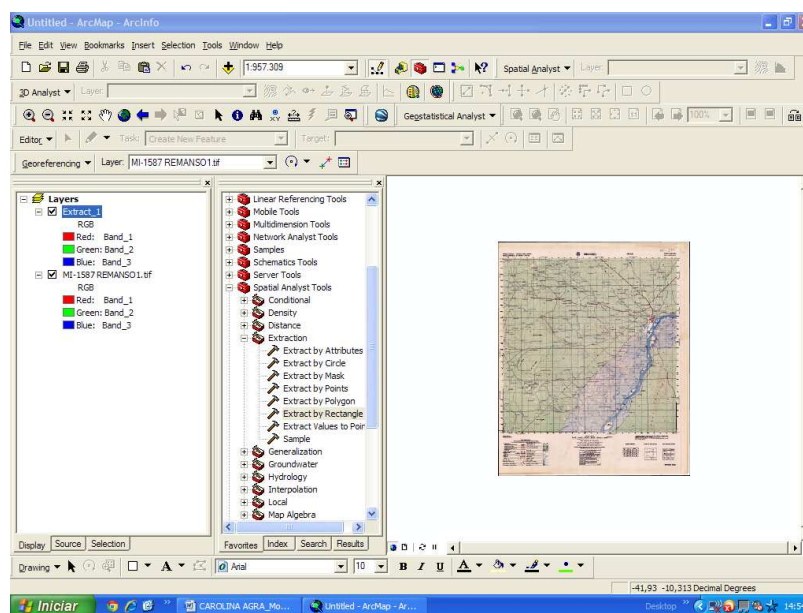


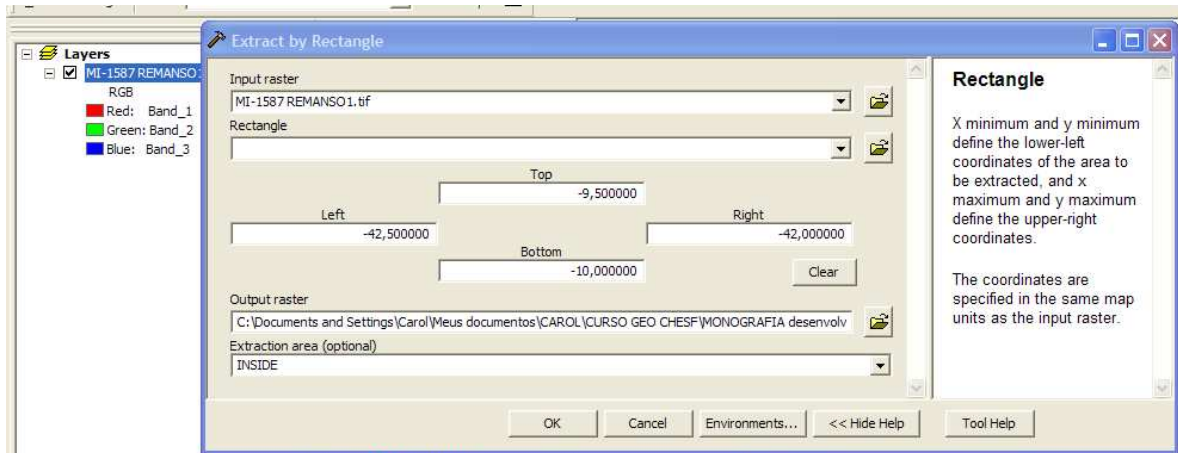
Figura 28 – Exportação de Imagem de Carta em Formato *TIFF* com Sistema de Coordenadas em *Córrego Alegre*. Exemplo para carta sistemática Remanso.

Com essa etapa realizada, é utilizado esse novo arquivo gerado em formato *TIFF* com Sistema de Coordenadas em Córrego Alegre, para ser mosaicado com as demais 9 cartas sistemáticas também projetadas para o Sistema de Coordenadas de Córrego Alegre. Contudo, antes é necessário recortar as margens da imagem da carta para apenas deixar a parte útil do mapa, e assim não ocorrer sobreposição de informações entre os mapas, e somente ocorrer ligações contíguas.

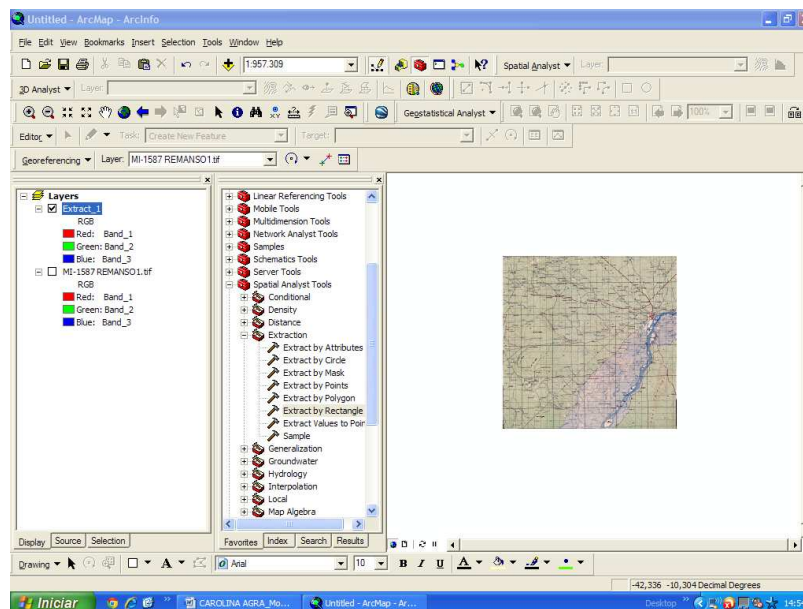
Para executar o recorte dessa área útil, é necessário construir uma máscara dessa mesma área, para posteriormente aplicar os seguintes comandos do aplicativo *ArcToolbox*: <*Spatial Analyst Tools*>, <*Extraction*>, <*Extract by Rectangle*>. Os comandos anteriormente relacionados permitem a execução do recorte de cada imagem, conforme as **Figuras 29 a 31**, do mapa deixando apenas sua área útil, sem perder sua georeferência.



**Figura 29** – Arquivo *TIFF* da carta sistemática completa no Sistema de Coordenadas em Córrego Alegre

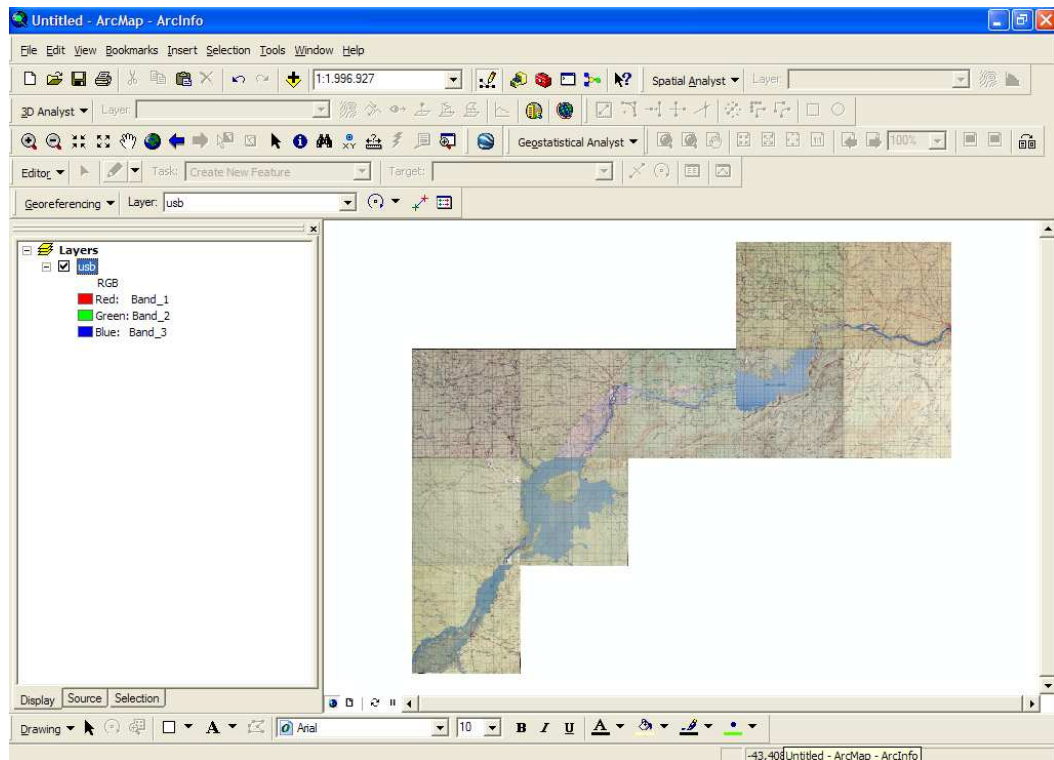


**Figura 30** – Recorte do retângulo que engloba a área útil da carta



**Figura 31** – Arquivo *TIFF* da carta sistemática recortada apenas com sua área útil com Sistema de Coordenadas em Córrego Alegre

Esse processamento de recorte da máscara (retângulo) é repetido para todas as 10 (dez) unidades de carta que compõem o Reservatório de Sobradinho, isto é, todas as 10 cartas são recortadas em apenas sua área útil, devidamente georeferenciadas para o Sistema de Coordenadas de Córrego Alegre. A próxima etapa é a execução da mosaicagem das mesmas, segundo a **Figura 32**. Inicialmente, são adicionadas todas as cartas como tema numa mesma <Table of Contents>, e na seqüência, no <ArcToolBox>, são utilizados os comandos <Data Management Tools>, <Raster>, <Raster Dataset>, <Mosaic to New Raster> para mosaicar todas as cartas de uma só vez criando um único arquivo *raster*.



**Figura 32** – Mosaico *TIFF* contendo as 10 cartas sistemáticas recortadas apenas em suas áreas úteis para o Sistema de Coordenadas de Córrego Alegre

Nessa etapa, é elaborado um arquivo único contendo uma imagem *TIFF* das cartas da SUDENE na escala 1/100.000, georeferenciada no Sistema de Coordenadas de Córrego Alegre.

Cabe destacar que cada arquivo de carta sistemática em formato *raster* tem em média 85 *Mb*. Ao realizar o processo de mosaicagem, o arquivo único contendo as 10 unidades de cartas sistemáticas unidas, também em formato *raster*, apresenta tamanho 2,08 *Gb*. Sobre o tempo de processamento da operação de mosaicagem para as cartas empregadas nesta monografia, afirma-se que durou cerca de 2 horas de compilação mosaicando todas as 10 cartas de uma só vez, empregando para isso um processador *Intel (R) Atom (TM), CPU N270 @ 1.60 GHz*, 1,99 *Gb* de RAM.

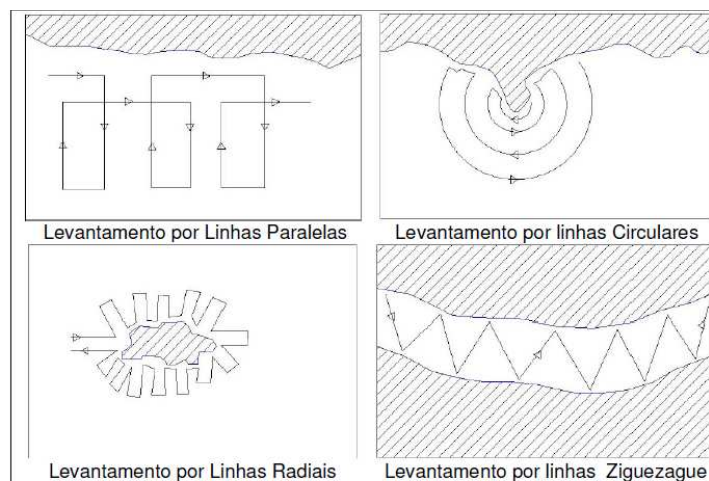
## 8. EXECUÇÃO DO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO

O Levantamento Batimétrico, realizado no ano de 2009 no Reservatório de Sobradinho, que está sendo utilizado nessa monografia, é resultado de uma das Metas do Projeto de Pesquisa & Desenvolvimento (P&D), coordenado pela Chesf através da Divisão de Gestão de Recursos Hídricos (DORH), e executado pela empresa Hidrocom, com apoio técnico da Universidade Federal de Pernambuco, através do Departamento de Engenharia Civil/Grupo de Recursos Hídricos.

### 4.1. Projeto de Navegação Batimétrica

O projeto da navegação batimétrica no Reservatório de Sobradinho procedeu-se da seguinte forma:

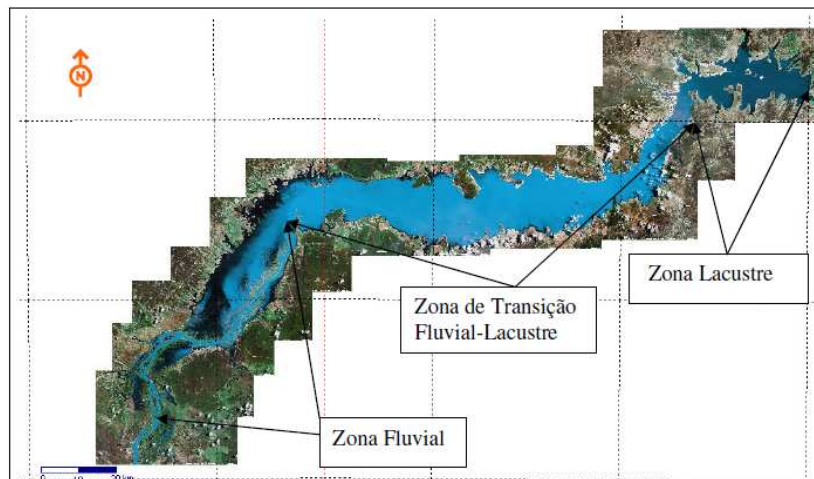
- Estabelecida a configuração das linhas de navegação batimétrica, que é determinada pelo tipo, forma do corpo d'água, variação do N.A (nível da água) e pela morfologia do fundo. Por isso, durante o levantamento batimétrico de reservatórios, o projeto de navegação, geralmente, é composto por associações de tipos de linhas de navegação (**Figura 33**);
- Determinada extensão total das linhas de navegação;
- Quantificado tempo para a realização do levantamento batimétrico.



**Figura 33** – Tipos de Linhas de Navegação (Fonte: Hidrocom)

No projeto da navegação batimétrica, para definir o tipo e as associações das linhas de navegação é utilizado o conceito de Straškraba; de que reservatórios artificiais são transições entre rios e lagos naturais, permitindo assim separar, de forma conceitual descritiva, o Reservatório de Sobradinho em três zonas (**Figura 34**):

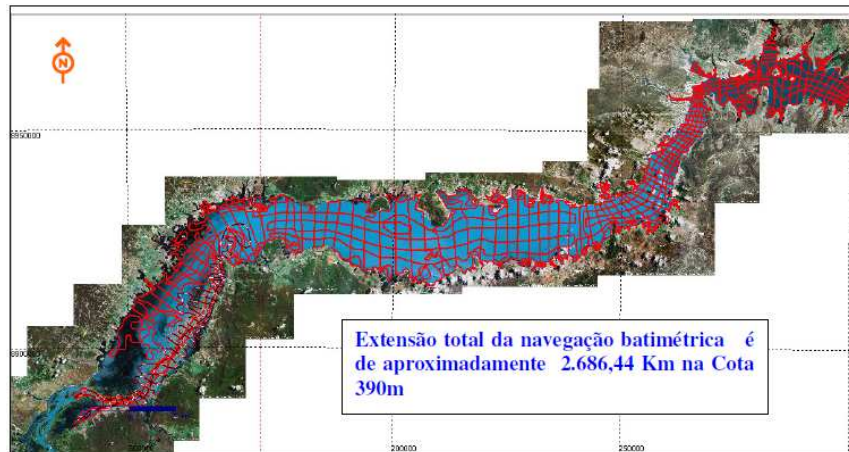
- 1) Zona Fluvial – Caracteriza-se por ser, em determinadas situações mais estreita (em nível baixo), e possuir uma menor profundidade com um alto fluxo afluente;
- 2) Zona de Transição – É mais larga que a zona fluvial, mais profunda e tem fluxo menor;
- 3) Zona Lacustre – É larga e profunda e com fluxo bem reduzido.



**Figura 34** – Zonas de Navegação no Reservatório de Sobradinho (Fonte: Hidrocom)

As linhas de navegação batimétrica são configuradas a partir da linha de N.A na cota aproximada de 390 m (**Figura 35**). Foi estimado que devido ao excelente regime de chuvas na bacia hidrográfica do São Francisco, o reservatório atingiria sua cota máxima, cota 392,5 m, até o final do mês de abril, que é uma condição ideal para o levantamento batimétrico. Portanto, a estimativa da extensão das linhas de navegação prevista foi de aproximadamente 3.000 Km de extensão, ou seja 311,56 Km, além dos 2.688,44 Km, inicialmente calculados.





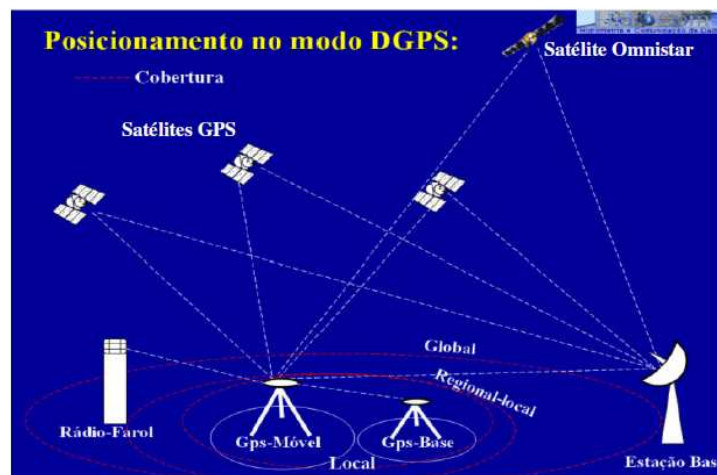
**Figura 35** – Configuração das Linhas de Navegação Batimétrica para a Cota aproximada de 390m (Fonte: Hidrocom)

## 4.2. Levantamento Batimétrico Propriamente Dito

### a) Posicionamento por DGPS em Tempo Real

O levantamento batimétrico do reservatório da Barragem de Sobradinho realizou-se com posicionamento por *GPS* (*Global Positionation System*), no modo *WADGPS* (aumento do alcance da área de correção diferencial via satélite - sistema *OmniSTAR*), cujos resultados de posicionamento possuem precisão submétrica em 68% do tempo que estiver operando, ou por correção diferencial via “*beacom*” - rádio farol, ou pós-processado por estação base de correção (**Figura 36**).

O Sistema *OmniSTAR* presta um serviço, realizado através de um rede global com 90 estações em 45 países, que permite o fornecimento dos dados de correção diferencial, independente da distância da estação base e em tempo real, para aqueles *GPS* habilitados ao uso deste sistema, mediante o pagamento de uma assinatura anual.



**Figura 36** – Tipos de Correção DGPS (Correção Diferencial GPS) (Fonte: Hidrocom)

### b) Obtenção das Profundidades

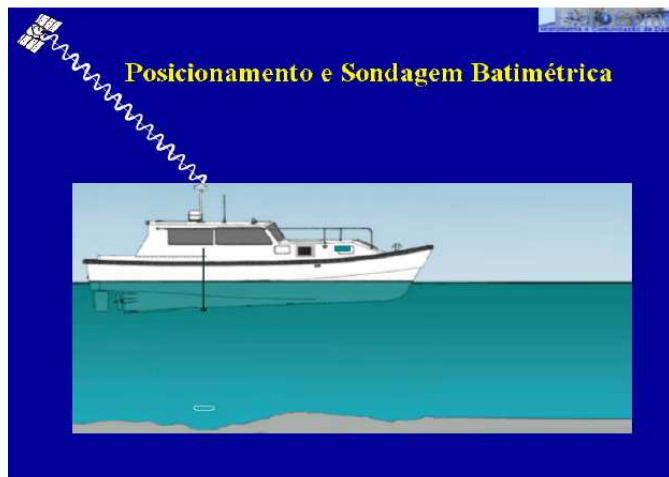
Para medição das profundidades utilizou-se uma EcoSSonda Digital Multifrequência de Feixe Único (*Single beam*), com precisão centimétrica (**Figura 37**). A EcoSSonda é um equipamento que se baseia na medição do tempo gasto por um sinal sonoro, para percorrer a distância entre o transdutor e o fundo de um corpo d'água e o retorno do sinal refletido ao receptor. Sendo  $v$ , a velocidade de propagação do som na água, a profundidade  $h$ , é dada por:

$$h = 0,5 v \cdot t$$

Onde:

$v = 1.500 \text{ m/s} \pm 3\%$ , dependendo da temperatura da água, da salinidade e da pressão (em relação à profundidade)

$t$  = ao tempo gasto pelo sinal, para ir ao fundo e retornar

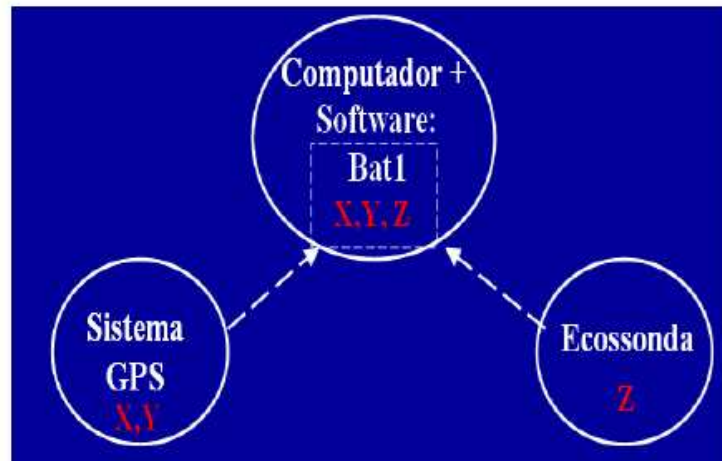


**Figura 37** – Posicionamento por *DGPS* e Sondagem Batimétrica com EcoSSonda Digital (Fonte: Hidrocom)

### c) Aquisição dos Dados de Posição e Profundidade

A navegação realizou-se através do *software Trackmaker*. Para aquisição, armazenamento em arquivos digitais, das amostras  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  (de posição e profundidade) utilizou-se o *software Bat1*, desenvolvido pela Hidrocom, para realizar a interface e a acoplagem entre os dados de navegação, posição e profundidade obtidos do sistema *DGPS-Max* e EcoSSonda *Bathy-500* adquiridos pela CHESF para o projeto (**Figuras 38 e 39**).





**Figura 38** – Sistema para Aquisição dos Dados de Posição e Profundidade (Fonte: Hidrocom)



**Figura 39** – *Software BAT1* para Integração *GPS* + *ECO* e Aquisição e Armazenamento dos Dados Batimétricos (Fonte: Hidrocom)

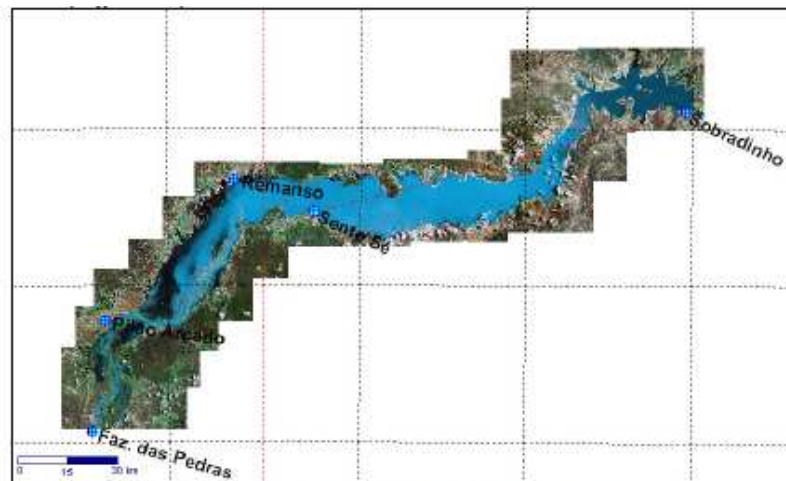
### 4.3. Pré-Processamento dos Dados Batimétricos

Nas amostras batimétricas são encontradas os seguintes erros, gerados durante a aquisição de dados:

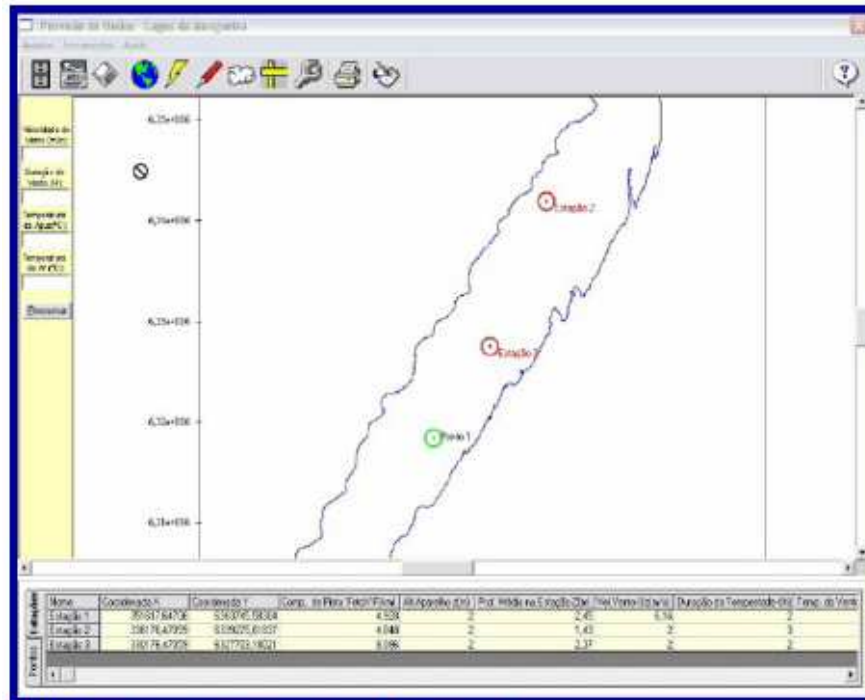
- “Ruídos” de sondagem ocasionados pela diminuição da energia de alimentação da Ecosonda, ou pela intercepção do feixe da sonda por obstáculos, como galhos da vegetação submersa ou sedimentos do fundo em locais muito rasos;
- Variação da profundidade causada pela agitação da superfície d’água, em função do vento e a onda;
- Flutuação do N.A do corpo d’água.

A correção dos dados batimétricos realizou-se com a filtragem dos “ruídos” de sondagem e redução da variação da flutuação do nível d’água com os programas *Filtbat* e *Batcor*. Para a correção da flutuação do N.A utilizou-se os dados das estações limnimétricas (**Figura 40**) existentes e de (04) linígrafos digitais da Hidrocom que foram instalados durante o levantamento batimétrico.

A variação da superfície da água, em função do vento e onda, foi a mais difícil de ser corrigida, na realidade o melhor é evitar o levantamento batimétrico com onda e vento, mas isto nem sempre é possível principalmente em grandes corpos d’água. Contudo, utilizou-se o *software PrevOnda*, desenvolvido pela Hidrocom, que calcula a altura da onda incidente no local, para corrigir profundidade registrada. (**Figura 41**)



**Figura 40** – Postos Limnimétricos do Reservatório da UHE de Sobradinho (Fonte: Hidrocom)



**Figura 41** – Modelo para Previsão de Onda – *PrevOnda* (Fonte: Hidrocom)

O resultado desse pré-processamento é um arquivo de pontos planialtimétricos, ou seja, com coordenadas X, Y e Z.

## 9. DEFINIÇÃO DA SUPERFÍCIE SUBMERSA

De posse do arquivo do Levantamento Batimétrico (**Figura 42**), os pontos coletados são espacializados no Sistema Geodésico original do levantamento, que é o WGS84. Posteriormente, esse sistema foi transformado para o Sistema de Coordenadas de Córrego Alegre, que é o empregado no mosaico das cartas sistemáticas da SUDENE/IBGE/DSG.

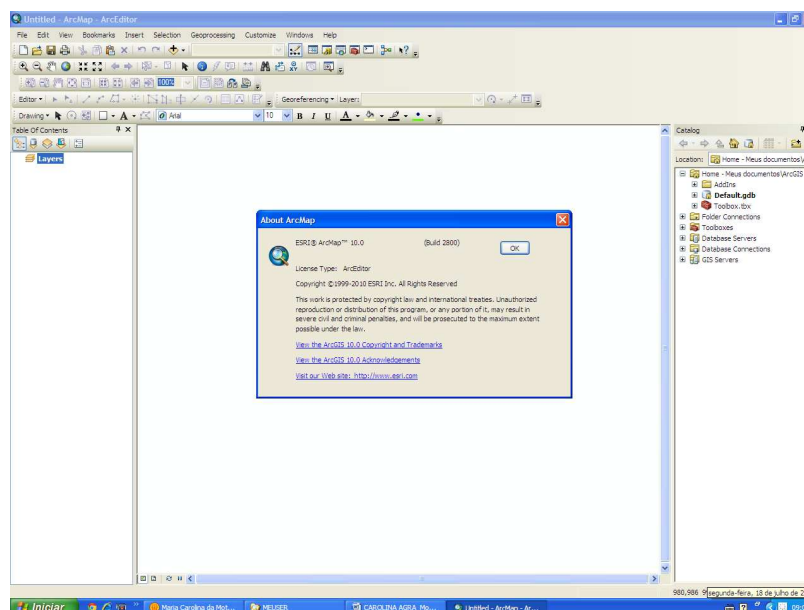
Os pontos tridimensionais da batimetria são compostos pelas coordenadas latitude, longitude e altitude dos pontos batimétricos. A latitude e longitude foram obtidas por rastreador *GPS*, e a altitude a partir da transformação das profundidades, coletadas pelo ecobatímetro, para altitudes elipsoidais relacionadas aos RRNN do Reservatório de Sobradinho.

LONG	LAT	PROF
-42,4644	-10,3064	378,8
-42,4647	-10,3068	378,5
-42,465	-10,3072	378,2
-42,4654	-10,3076	380,5
-42,4656	-10,308	382,8
-42,4658	-10,3085	383,1
-42,4661	-10,309	388
-42,4661	-10,3095	387,599
-42,4662	-10,3101	387,199
-42,4664	-10,3106	388,899
-42,4664	-10,3111	388,199
-42,4663	-10,3117	386,699
-42,4663	-10,3126	388,999
-42,4663	-10,3135	389,299
-42,4662	-10,3144	388,999

**Figura 42** – Tabela referente ao Levantamento Batimétrico realizado no Reservatório de Sobradinho em 2009

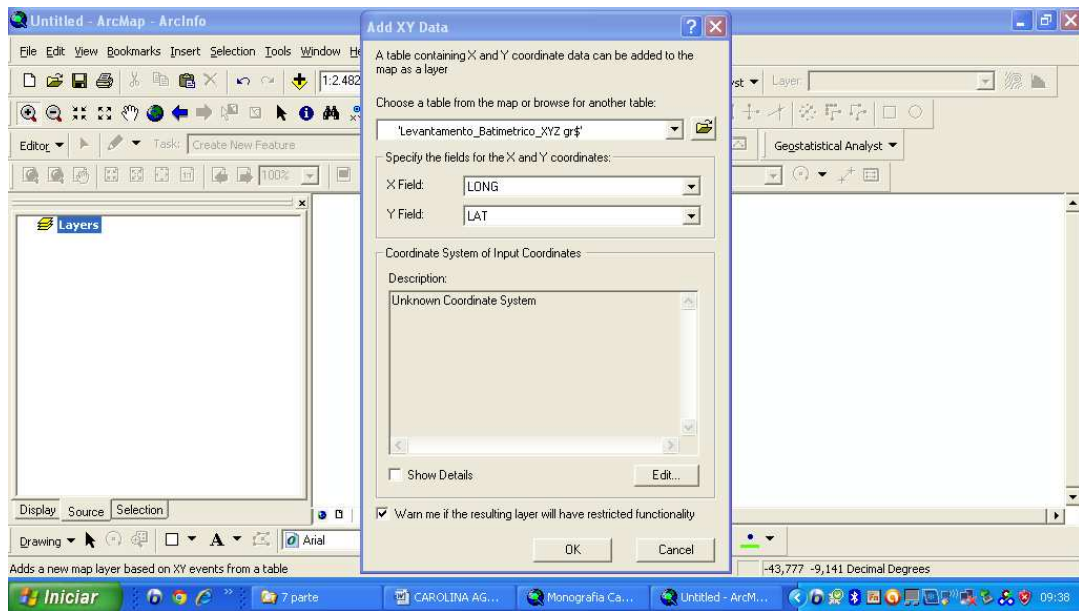
O mapeamento desenvolvido está no Sistema de Coordenadas de Córrego Alegre, tal como as cartas *raster* da SUDENE para essa região. Essas cartas *raster* têm sua malha de coordenadas definidas, e que não podem ser removidas por ser um arquivo matricial, então é adotado tal sistema de coordenadas para o mapeamento como um todo.

Inicialmente, é mostrado que para o desenvolvimento dessa monografia é utilizado como plataforma de Sistema de Informações Geográficas o *ArcMap 10.0*, anteriormente citado, disponibilizado pela Chesf, conforme mostra a **Figura 43**.

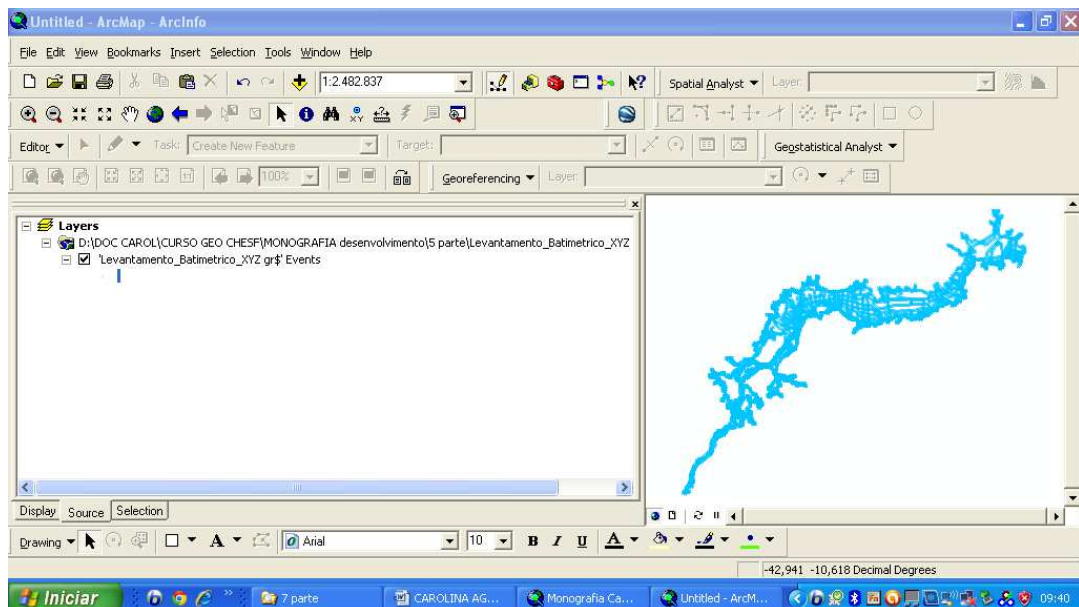


**Figura 43** – Tela de apresentação do *ArcMap 10.0* utilizado para desenvolvimento da monografia

São adicionados os pontos tridimensionais referentes aos dados batimétricos no *ArcMap* com o Sistema de Coordenadas indefinido, conforme apresentam as **Figuras 44 a 46**. No *ArcMap*, ao inserir os pontos batimétricos tridimensionais, se faz necessário a definição do Sistema de Coordenadas da referida malha de pontos.

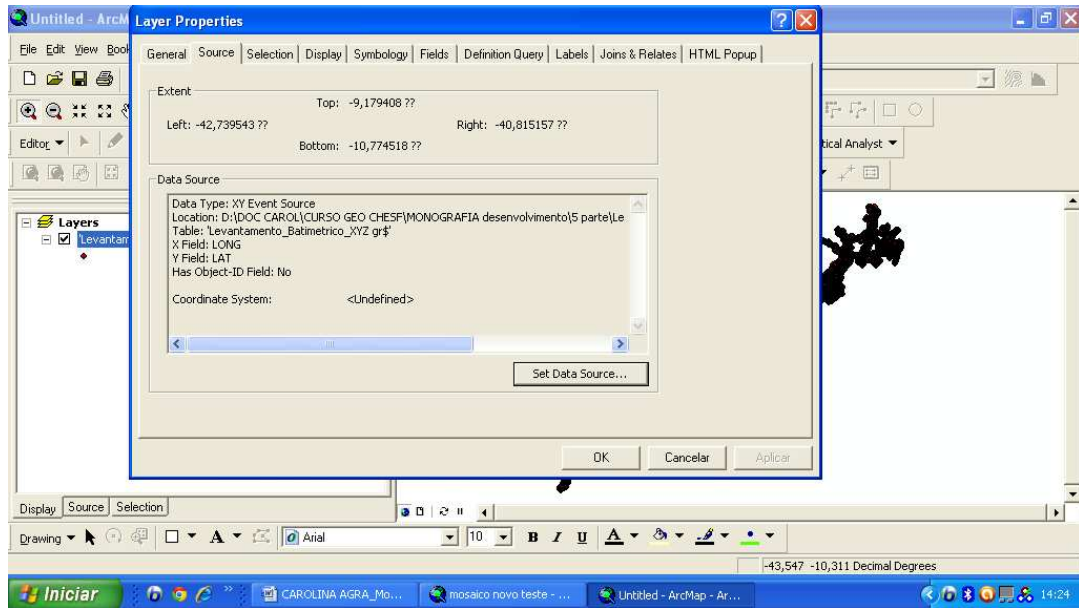


**Figura 44** – Adição de tabela de dados batimétricos por coordenadas dos pontos tridimensionais, com Sistema de Coordenadas indefinido



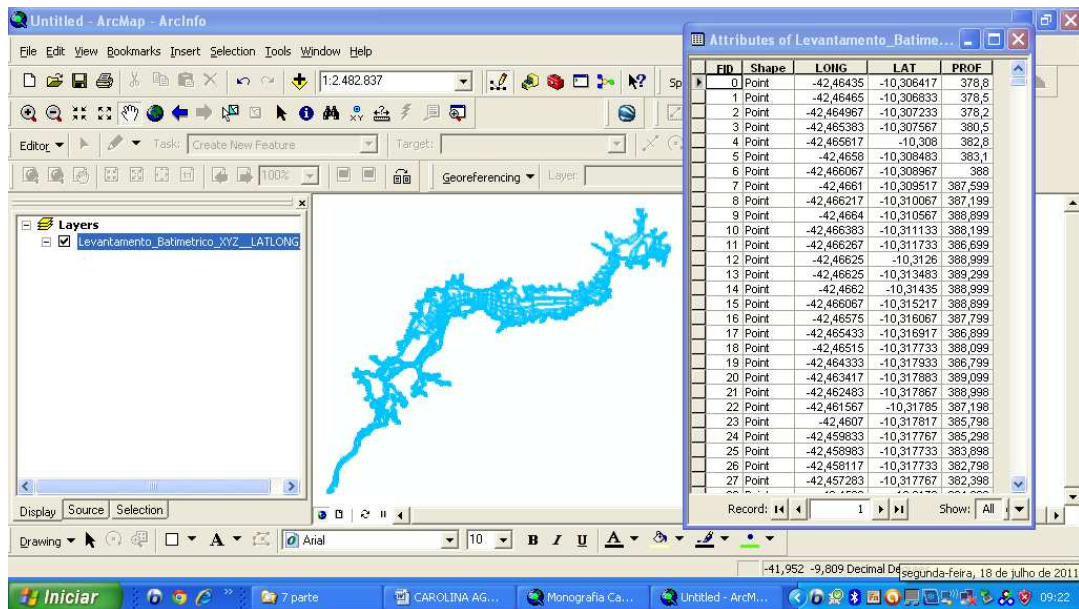
**Figura 45** – Apresentação da *View* dos pontos tridimensionais adicionados





**Figura 46** – Propriedades do *layer* dos pontos tridimensionais do levantamento batimétrico com Sistema de Coordenadas indefinido

Apresentação da <View>, conforme **Figura 47**, com os pontos tridimensionais referente aos dados batimétricos com sua tabela indicando as coordenadas geográficas e suas respectivas profundidades para cada ponto tridimensional batimétrico.



**Figura 47** – Apresentação da *View* dos dados batimétricos originais, com sua tabela de dados



A partir da aba de Propriedades do <Data Frame> é definido o Sistema de Coordenadas do Levantamento Batimétrico para Córrego Alegre. É exportado o dado para o mesmo sistema de coordenadas da <Data Frame>, e adicionado a <View>. Assim, os pontos tridimensionais referentes à batimetria efetuada no Reservatório de Sobradinho são definidos para o Sistema de Coordenadas de Córrego Alegre, conforme apresentam as Figuras 48 e 49.

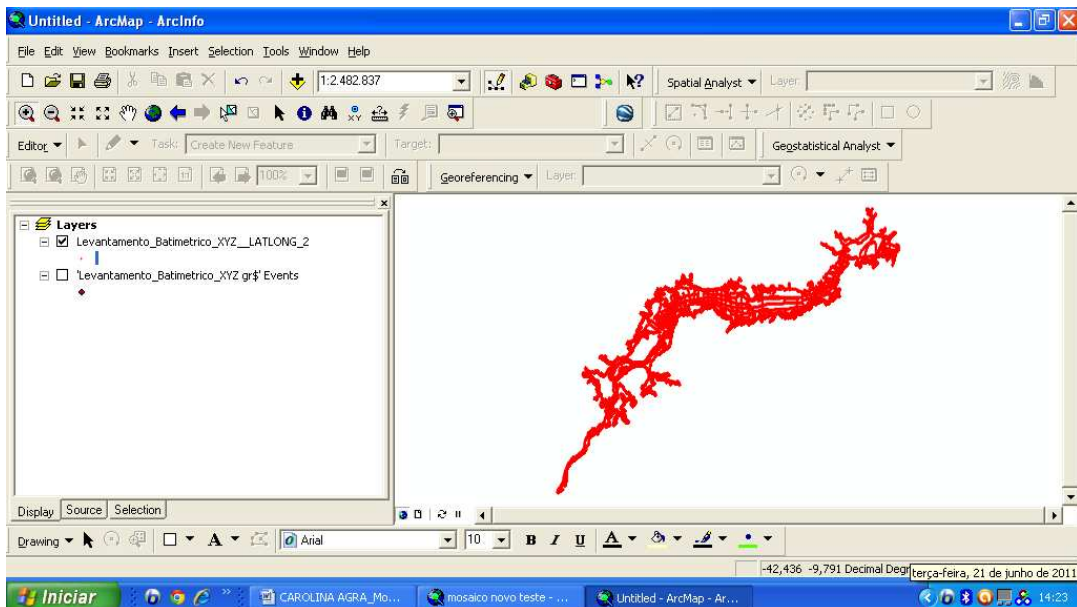


Figura 48 – Apresentação do *layer* de batimetria, em coordenadas geográficas e convertida as coordenadas em feição pontual do ArcMap (*shapefile*)

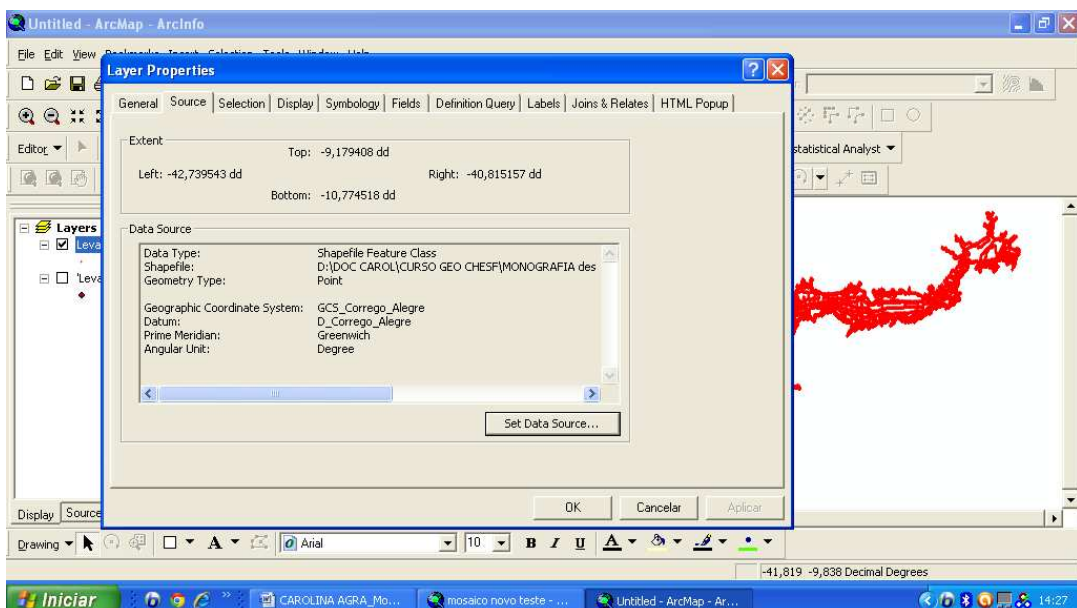
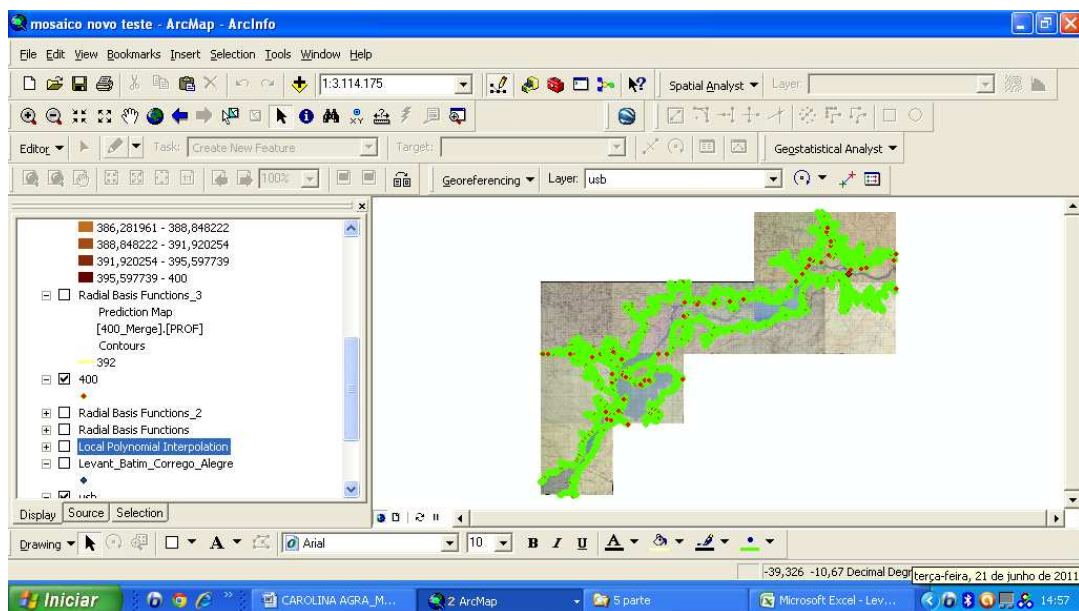


Figura 49 – Propriedade do *layer* de batimetria definida para o Sistema de Coordenadas de Córrego Alegre

## 10. VETORIZAÇÃO DA CURVA DE NÍVEL 400 m SOBRE A CARTA SISTEMÁTICA PARA FORMAÇÃO DA BACIA HIDRÁULICA

Como o levantamento batimétrico foi efetuado apenas até a cota 392,50 m, cota máxima operativa normal do Reservatório de Sobradinho, é adotada a curva de 400,00 m como a curva limite da bacia hidráulica que foi delimitada pela interpolação realizada pelo Modelo Digital do Terreno.

O traçado da curva de 400,00 m é digitalizado em tela, e depois a mesma é discretizada em pontos tridimensionais, onde todos os pontos que formam essa curva têm a altitude de 400,00 m, conforme mostra a **Figura 50**.



**Figura 50** – Pontos tridimensionais que representam a curva de nível de 400,00m

De posse da curva de 400,00 m em formato de pontos tridimensionais, são adicionados esses pontos à tabela de pontos tridimensionais resultantes da batimetria executada, conforme **Figura 51**, e em formato espacial, a mesma tabela na **Figura 52**. Esse procedimento é realizado objetivando a realização da interpolação do modelo digital do terreno.

FID	Shape	Id	ORIG FID	PROF	LONG	LAT
26981	Point ZM	0	122	400	-42,170564	-10,000223
26982	Point ZM	0	122	400	-42,170188	-10,000669
26983	Point ZM	0	122	400	-42,169812	-10,001069
26984	Point ZM	0	122	400	-42,169295	-10,001586
26985	Point ZM	0	122	400	-42,168966	-10,001891
26986	Point ZM	0	122	400	-42,168707	-10,002103
26987	Point ZM	0	122	400	-42,168331	-10,001985
26988	Point ZM	0	122	400	-42,168073	-10,001421
26989	Point ZM	0	122	400	-42,168214	-10,000834
26990	Point ZM	0	122	400	-42,168167	-10,000528
26991	Point ZM	0	122	400	-42,168143	-10,000082
26992	Point ZM	0	0	379	-42,464222	-10,306241
26993	Point ZM	0	0	378	-42,464522	-10,306658
26994	Point ZM	0	0	378	-42,464836	-10,307058
26995	Point ZM	0	0	380	-42,465253	-10,307391
26996	Point ZM	0	0	383	-42,465486	-10,307825
26997	Point ZM	0	0	383	-42,46567	-10,308308
26998	Point ZM	0	0	388	-42,465936	-10,308791
26999	Point ZM	0	0	388	-42,46597	-10,309341
27000	Point ZM	0	0	387	-42,466086	-10,309891
27001	Point ZM	0	0	389	-42,466269	-10,310391
27002	Point ZM	0	0	388	-42,466253	-10,310958
27003	Point ZM	0	0	387	-42,466136	-10,311558
27004	Point ZM	0	0	389	-42,466119	-10,312424
27005	Point ZM	0	0	389	-42,466119	-10,313308
27006	Point ZM	0	0	389	-42,466069	-10,314174
27007	Point ZM	0	0	389	-42,465936	-10,315041
27008	Point ZM	0	0	388	-42,46562	-10,315891
27009	Point ZM	0	0	387	-42,465303	-10,316741
27010	Point ZM	0	0	388	-42,46502	-10,317558
27011	Point ZM	0	0	387	-42,464203	-10,317758

Figura 51 – Tabela referente à batimetria realizada em 2009 acrescida dos pontos tridimensionais que representam a curva de nível de 400,00m

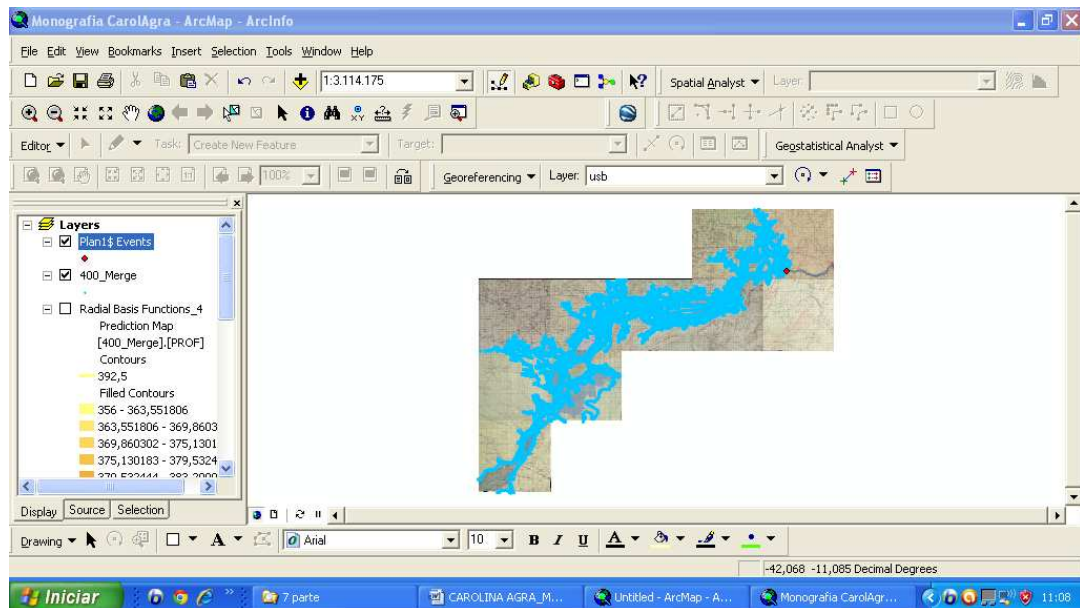


Figura 52 – Representação dos pontos tridimensionais referentes a batimetria realizada em 2009 e aos que representam a curva de nível de 400,00m

## 11. INTERPOLAÇÃO DOS PONTOS DA BATIMETRIA COM A CURVA DE NÍVEL DE 400 m

A interpolação dos pontos tridimensionais é realizada utilizando o procedimento <Geostatistical Wizard>, conforme as Figuras 53 a 57, onde são adicionados os parâmetros necessários para execução do modelo de interpolação. Nesse caso é utilizado o <Radial Basis Functions> (AGRA, 2007), utilizando como atributo de modelagem a **Profundidade** coletada no reservatório. O interpolador escolhido teve por base os estudos desenvolvidos na dissertação de Mestrado (AGRA, 2007), onde foram analisados os interpoladores disponíveis no aplicativo *ArcMap*, e se concluiu que qualquer que fosse a metodologia matemática aplicada o produto chegaria a um resultado admissível.

As Funções de Base Radial correspondem a um grupo de interpoladores chamados *Splines* que produzem superfícies suaves (CHIN-SHUNG YANG *et. al.*). 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 (JAKOB e YOUNG, 2006). Essa superfície pode ser interpretada como uma membrana de borracha flexível, perfeitamente adaptada à amostra (ESTRADA e SAFRIET, 2007). Por causa dessa característica, as *Splines* não são recomendadas para as superfícies com grandes variações de gradientes (JAKOB e YOUNG, 2006).

As Funções de Base Radial disponíveis no *ArcMap* são (AGRA, 2007):

- *Thin Plate Spline*;
- *Spline with Tension*;
- *Completely Regularized Spline*;
- *Multiquadric Function*;
- *Inverse Multiquadric Function*.

A Função de Base Radial utilizada nesta monografia é a Função Multiquadrática (*Multiquadric Function*).

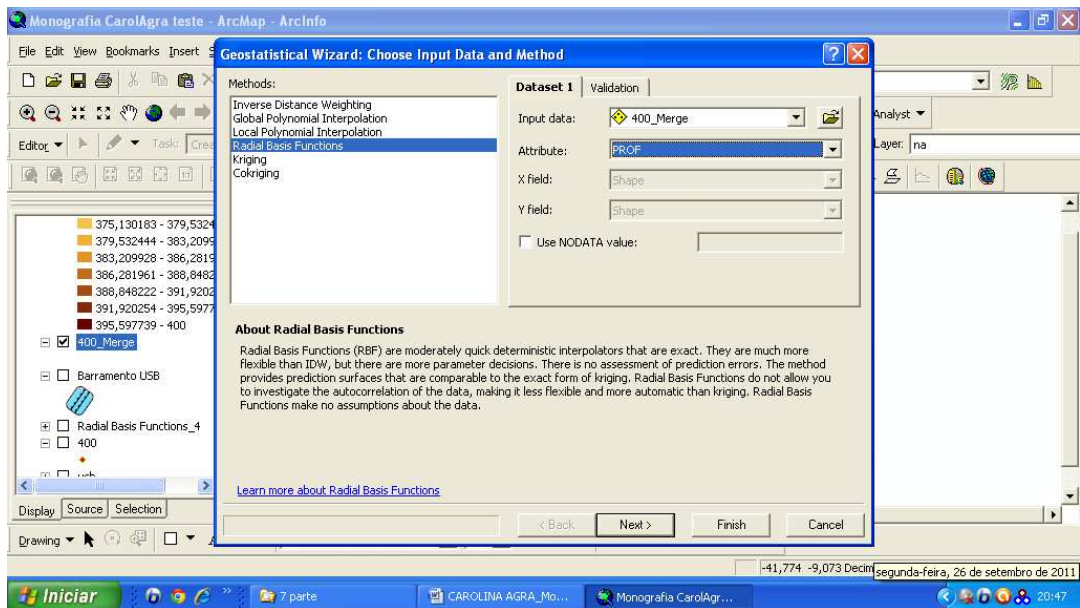


Figura 53 – Escolha do Método de Interpolação e do Atributo a ser interpolado

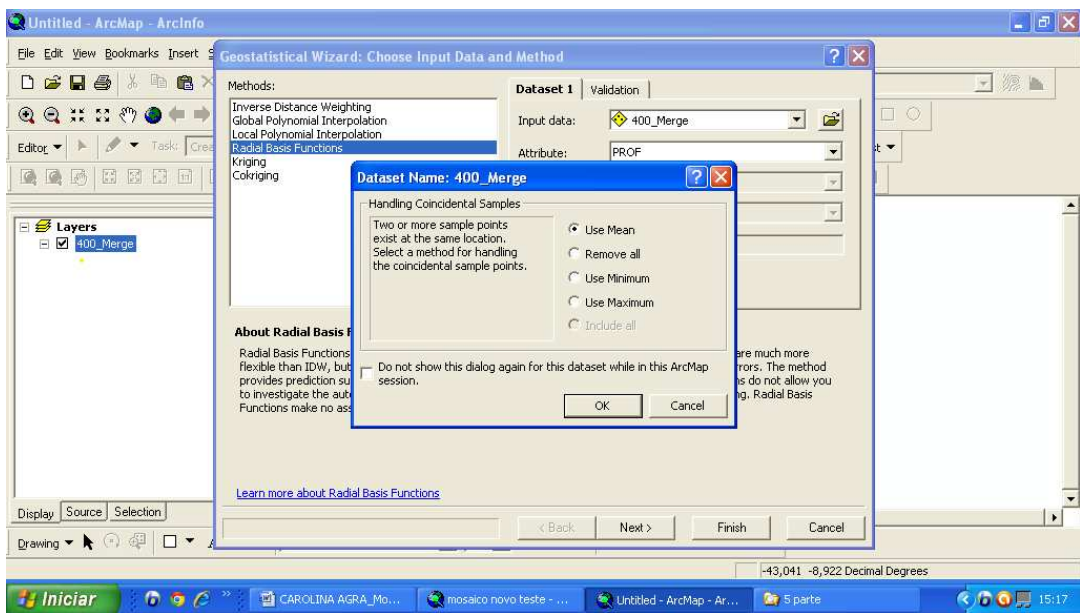


Figura 54 – Condição para obtenção de pontos amostrais coincidentes