

VOTORANTIM ENERGIA
TOPOCART TOPOGRAFIA ENGENHARIA E AEROLEVANTAMENTOS S/S LTDA

RELATÓRIO TÉCNICO
ATUALIZAÇÃO DA CURVA COTA x ÁREA x VOLUME
ATENDIMENTO À RESOLUÇÃO CONJUNTA Nº 003/2010 ANA/ANEEL

UHE SOBRAGI

Brasília-DF, agosto de 2021

1. Sumário

1. APRESENTAÇÃO	3
1.1. Justificativa e Objetivo dos Trabalhos.....	3
1.2. Apresentação da TOPOCART	3
2. ESCOPO DOS TRABALHOS	4
2.1. Implantação da RVG	4
2.2. Modelo Geoidal.....	4
2.3. Levantamento de Seções Batimétricas	5
2.4. Levantamento de Seções de controle.....	5
2.5. Atualização das Curvas Cota x Área x Volume.....	5
3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	5
4. IMPLANTAÇÃO DE VÉRTICES GEODÉSICOS - RVG	6
4.1. Sistema Geodésico Empregado	6
4.2. Vértices de Referência	7
4.3. Implantação do Apoio Básico (RVG).....	8
4.4. Nivelamento geométrico do Apoio Básico (RVG).....	11
4.4.1. Circuito de Nivelamento Realizado.....	12
4.5. Resultados Obtidos	12
5. MODELO GEOIDAL LOCAL	13
6. LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO	14
6.1. Calibração do ecobatímetro	15
6.2. Execução do Levantamento Batimétrico	16
6.2.1. Planejamento	16
6.2.2. Coleta das Informações.....	17
6.2.3. Variação do Nível d'Água	19
6.2.4. Processamento	20
6.3. Análises dos dados.....	21
7. IMPLANTAÇÃO DAS SEÇÕES DE CONTROLE	21
7.1. Implantação de Vértices para Seções de Controle	22
7.2. Levantamento Topobatimétrico.....	24
8. MODELO DIGITAL DO RESERVATÓRIO	25
9. GERAÇÃO DAS CURVAS Cota x Área x Volume	26
10. CONTROLE DE QUALIDADE	28
ANEXO 01 – REDE VÉRTICES GEODÉSICOS	29
ANEXO 02 – NIVELAMENTO GEOMÉTRICO.....	30
ANEXO 03 – ARQUIVOS KMZ.....	31
ANEXO 04 – MODELO GEOIDAL LOCAL.....	32
ANEXO 05 – LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO.....	33
ANEXO 06 – SEÇÕES DE CONTROLE.....	34
ANEXO 07 – MODELO DIGITAL.....	35
ANEXO 08 – C x A x V	36

1. APRESENTAÇÃO

1.1. Justificativa e Objetivo dos Trabalhos

O presente relatório refere-se à descrição técnica dos Levantamentos Topográficos e Batimétricos a montante da UHE Sobragi e da geração das Curvas Cota x Área x Volume.

Os serviços seguiram os critérios estabelecidos nos documentos “Orientações Para Atualização das Curvas Cota x Área x Volume”, da Agência Nacional de Águas, em conjunto com planejamento definido em reunião do dia 22/07/21 com Votorantim Energia.

O objetivo deste documento é descrever a metodologia e todos os processos envolvidos nas etapas de execução e geração dos produtos finais relativos aos itens supracitados objetos do cumprimento do contrato.

1.2. Apresentação da TOPOCART

A TOPOCART, empresa sediada em Brasília-DF, conhecedora de toda a problemática que envolve o presente projeto, vem submeter à avaliação da Votorantim Energia, o Relatório Técnico dos Trabalhos.

Segue abaixo o resumo das princípios norteadores e a filosofia de trabalho da TOPOCART.

MISSÃO

Desenvolver projetos de forma integrada oferecendo a melhor solução aos seus Clientes e agregando qualidade de vida a sociedade em geral.

VALORES

- Excelência profissional e multidisciplinaridade;
- Serviços diferenciados e soluções práticas;
- Progresso socioeconômico e sustentabilidade.

VISÃO

Buscar e manter uma posição firme, referencial e competitiva no mercado onde se atua, por meio da melhoria contínua das soluções oferecidas aos Clientes.

Para o cumprimento de sua missão a TOPOCART se apoia em três princípios básicos que constituem os pilares de sustentação de sua atuação:

- ✓ **Qualidade acima de tudo:** a qualidade está, por assim dizer, na própria razão de existência da empresa e é o elemento balizador da atuação de todo o seu corpo técnico. O foco desse princípio é o Cliente, pois para a TOPOCART o conceito de qualidade é atender plenamente a todas as expectativas de seus Clientes, externo, interno e a sociedade em geral;

- ✓ **Emprego da melhor tecnologia disponível no mercado:** investimento contínuo na pesquisa, desenvolvimento e aquisição do melhor ferramental e método para o desenvolvimento de suas atividades. A TOPOCART está sempre atenta às menores transformações e tendências de evolução da tecnologia;
- ✓ **Capacitação contínua:** O corpo técnico da empresa é o seu maior patrimônio. É através dele que as transformações se operam e as inovações acontecem. Por isso a TOPOCART investe continuamente na melhoria e capacitação de seus técnicos.

Nesse sentido, procura-se mostrar, ao longo do Relatório Técnico, que a TOPOCART é uma empresa que reúne todas as condições técnicas necessárias para prestar o melhor serviço à Votorantim Energia, em todas as suas vertentes, quais sejam: garantia da qualidade, prazo, custo, segurança e amparo técnico.

A partir da assinatura do contrato, a TOPOCART disponibiliza toda a sua estrutura de produção a Votorantim Energia, para fazer diligências e verificações, a fim de verificar os recursos tecnológicos e humanos utilizados.

A TOPOCART disponibilizou todos os meios necessários para facilitar o acesso da equipe de fiscalização e avaliação aos trabalhos em execução no campo e no escritório, no início e durante a realização de cada etapa.

A TOPOCART comprometeu-se a executar a totalidade dos serviços na sua sede em Brasília-DF ou fora desta, diretamente com o seu corpo técnico permanente, sem terceirizações ou subcontratações de quaisquer etapas do projeto.

2. ESCOPO DOS TRABALHOS

O escopo dos trabalhos abrange os seguintes serviços:

2.1. Implantação da RVG

- a) Implantação de marcos (10 marcos);
- b) Nivelamento geométrico (42,2km) dos marcos da RVG; e
- c) Geração de monografias.

2.2. Modelo Geoidal

- a) Cálculo da diferença altimétrica (altitude geométrica e ortométrica); e
- b) Confirmação ou Geração do MGL;

2.3. Levantamento de Seções Batimétricas

- a) Levantamento Batimétrico do curso principal: 47 seções batimétricas transversais, equidistantes 8m, totalizando 2,21km;
- b) Levantamento Batimétrico do curso principal: 14 seções batimétricas longitudinais, totalizando 3,17km, sendo uma no talvegue do curso principal e as demais próximas as margens esquerda e direita do reservatório;
- c) Geração de isóbatas; e
- d) Geração do Modelo Digital do Terreno.

2.4. Levantamento de Seções de controle

- a) Implantação de marcos (Transporte de Coordenadas);
- b) Levantamento Topobatimétrico (1 conjunto = 3 seções);
- c) Geração de isóbatas; e
- d) Geração do Modelo Digital do Terreno.

2.5. Atualização das Curvas Cota x Área x Volume

- a) Consolidação da Base Cartográfica (fusão da parte seca “máxima maximorum” e molhada);
- b) Geração da Superfície Digital baseada na malha de pontos coletada, contendo as informações da modelagem do terreno para área útil do reservatório; e
- c) Geração das Curvas “Cota x Área” e “Cota x Volume” obtidos pela variação da posição de um plano de corte, a cada 0,1m, desde a cota mínima até o nível máximo maximorum do reservatório.

3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A seguir é apresentada a UHE Sobragi objeto dos levantamentos.



Figura 1 - Localização da UHE Sobragi

A região de estudo está situada entre as cidades de Belmiro Braga e Simão Pereira, ambas no estado de Minas Gerais, localizada no enquadramento geográfico de Latitude (-21°58'48" a -21°58'36") e Longitude (-43°21'56" a -43°21'44").

A área molhada do empreendimento corresponde a 0,03km².

4. IMPLANTAÇÃO DE VÉRTICES GEODÉSICOS - RVG

4.1. Sistema Geodésico Empregado

Referencial Geodésico

Todos os trabalhos executados consideraram como referência básica os vértices de primeira ordem do IBGE, homologados junto ao Sistema Geodésico Brasileiro - SGB.

Para composição dos produtos finais foi utilizado como referencial planialtimétrico o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - SIRGAS2000. A definição deste sistema é dada pelos parâmetros apresentados no tópico abaixo.

SIRGAS 2000

- Nomenclatura oficial: Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
- Sistema Geodésico de Referência: Sistema de Referência Terrestre Internacional - ITRS (International Terrestrial Reference System)
- Figura geométrica para a Terra: Elipsoide do Sistema Geodésico de Referência de 1980 (Geodetic Reference System 1980 – GRS80)
- Semi-eixo maior $a= 6.378.137$ m
- Achatamento $f= 1/298,257224$
- Parâmetros referentes ao posicionamento espacial do elipsoide:
 - Origem: Centro de massa da Terra (Geocêntrico).
 - Orientação: Pólos e meridiano de referência consistentes em $\pm 0.005''$ com as direções definidas pelo BIH (Bureau International de l'Heure), em 1984,0.
 - Estações de Referência: 21 estações da Rede Continental SIRGAS2000, estabelecidas no Brasil e identificadas formam a estrutura de referência a partir da qual o sistema SIRGAS2000 é materializado em território nacional. É incluída nesse conjunto a estação SMAR, pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC), cujas coordenadas foram determinadas pelo IBGE posteriormente à campanha GNSS SIRGAS2000.
 - Época de Referência das coordenadas: 2000,4.
 - Materialização: Estabelecida por intermédio de todas as estações que compõem a Rede Geodésica Brasileira, implantadas a partir das estações de referência.

Referencial Altimétrico

O Referencial Altimétrico adotado para o projeto é o mesmo utilizado pelo IBGE: O Datum Altimétrico de Imbituba, que coincide com a superfície equipotencial que contém o nível médio dos mares, definidos pelas observações maregráficas tomadas na Baía de Imbituba-SC.

O Referencial utilizado é do Reajustamento da Rede Altimétrica realizado em 2011.

A determinação das Altitudes Geométricas dos vértices foi realizada com receptores GPS/GNSS de dupla frequência L1/L2. Para compensação das Ondulações Geométricas foi necessário a utilização do Modelo Geoidal Local, possibilitando a conversão das altitudes geométricas (que são referidas ao elipsoide), em altitudes ortométricas (referidas ao nível médio dos mares).

4.2. Vértices de Referência

Visando o emprego de vértices existentes, para servir como referência aos trabalhos executados, foram utilizados os seguintes Vértices do Sistema Geodésico Brasileiro - SGB do IBGE:

- CHPI (Cachoeira Paulista-SP)
- ONRJ (Rio de Janeiro-RJ)
- RIOD (Rio de Janeiro-RJ)
- RJCG (Campos dos Goytacazes-RJ)
- VICO (Viçosa-MG)

Para referência altimétrica foi utilizada a RN:

- RN115D

Os Vértices de Referência utilizados são apresentados na Figura abaixo



Figura 2 - Vértices de Referência utilizados.

Posteriormente à identificação dos Vértices de Referência, realizou-se um planejamento para execução dos trabalhos de Apoio de Campo. Nesse planejamento, foram levantadas as possibilidades e necessidade de utilização de todos os vértices listados, levando sempre em consideração as informações apresentadas em suas respectivas monografias.

A partir dos Vértices Geodésicos Oficiais do SGB foram determinadas as coordenadas tridimensionais de todos os vértices implantados e reocupados que foram utilizados no presente trabalho.

No Anexo 01 são apresentadas as Monografias Oficiais dos vértices utilizados para o Apoio da RVG. A Tabela a seguir apresenta as coordenadas dos Vértices Referência Oficiais.

Tabela 1 - Lista de Coordenadas dos Vértices de Referência Oficiais (IBGE-SGB) utilizados.

Vértice	Fuso	SISTEMA DE REFERÊNCIA SIRGAS 2000,4										
		COORDENADAS UTM				COORDENADAS GEODÉSICAS				Altitude Geométrica (m)	σ	Altitude Ortométrica (m)
		Leste (m)	σ	Norte (m)	σ	Latitude (° ' ")	Longitude (° ' ")					
CHPI	23	501524.482	0.001	7491112.296	0.001	S22°41'13.72660"	O44°59'06.56990"	617.415	0.004	-		
ONRJ	23	682133.192	0.001	7466927.822	0.001	S22°53'44.52200"	O43°13'27.59371"	35.636	0.005	-		
RIOD	23	673825.217	0.001	7475648.024	0.002	S22°49'04.23990"	O43°18'22.59580"	8.632	0.002	-		
RJCG	24	259450.193	0.001	7591387.416	0.001	S21°45'53.51690"	O41°19'34.16070"	9.961	0.005	-		
VICO	23	721757.711	0.001	7702785.751	0.002	S20°45'41.40200"	O42°52'11.96220"	665.955	0.002	-		
RN115D	23	-	-	-	-	-	-	-	-	475.6517		

4.3. Implantação do Apoio Básico (RVG)

Foram implantados marcos de referência através de transporte de coordenadas e esses foram a referência de apoio para os levantamentos batimétricos, bem como os levantamentos cartográficos.

O local para implantação de cada marco foi escolhido estrategicamente, contemplando a proximidade da região de levantamento. A materialização do marco foi realizada em local protegido, buscando a segurança contra alterações urbanísticas e vandalismos.

Na escolha do posicionamento dos marcos foram observados alguns critérios que irão facilitar o trabalho e garantir as precisões requeridas, quais sejam:

- Locais de fácil acesso, porém protegidos e reservados de forma a impedir ou diminuir o risco de destruição dos marcos;
- Horizonte livre para o rastreamento por GPS.

Os marcos foram distribuídos em toda a área do empreendimento, compondo o apoio planialtimétrico básico necessário aos levantamentos posteriores. A figura a seguir apresenta alguns exemplos.



Figura 3 – Marcos RVG

Foram implantados 10 marcos, distribuídos em toda a área de interesse, considerando-se vetores de rastreamento dos vértices do apoio básico aos pontos de levantamento batimétrico.

A identificação da localização desses marcos foi realizada em conjunto com a Votorantim Energia.

As coordenadas geodésicas finais do apoio básico foram calculadas no sistema UTM tendo como referência o SIRGAS2000. A última etapa do apoio é a confecção das monografias dos marcos implantados, com todas as informações relevantes ao mesmo, conforme modelo apresentado na figura a seguir.

Sistema de Referência		Ponto		COORDENADAS GEODÉSICAS (FUSO 23 SUL)			COORDENADAS UTM (MC 45 WGR.)			Altitude Ortométrica
SIRGAS2000	SB05	Latitude (S)	Longitude (WGr.)	Altitude Elipsoidal	±	Norte	±	Este	±	
		21°58'51,74224"	43°21'54,91430"	499,501	0,038	7568370,302	0,015	668778,884	0,015	441,562
Origem Planialtimétrica:		SB01 CHPI, CNRI, RIOD, RCG, VICIO			Classe de Nivelamento: Nivelamento Geométrico					
Datum Vertical:		Imbituba-SC			Observações: Os desvios padrão (σ) apresentados nesta monografia possuem nível de confiança de 1σ.					
Foto do SB05		Croqui de Localização dos Vértices				Foto Aérea				
Itinerário: Partindo-se do entroncamento da BR-040 com a MG-874 segue-se 4,41 km sentido à Simão Pereira - MG até uma entrada à direita, desta segue-se 5,45 km até uma entrada à direita, desta segue-se 3,78 km até uma entrada à esquerda desta segue-se 436 m até uma entrada à esquerda, desta segue-se 83 m até uma entrada à direita, desta segue-se 1,29 km até uma entrada à esquerda, desta segue-se 1,21 km até onde está localizado o ponto SB05.						Características: Marco de concreto no formato tronco piramidal com as dimensões 15x20x50 cm (Topo x Base x Altura). No topo tem uma chapa de aço (10x5cm) com a descrição ANA, TOPOCART, nome do empreendimento e o nome do ponto.				
Executado por: Topocart Topografia, Engenharia e Aerolevanteamento S/S Ltda. www.topocart.com.br										

Figura 4 – Monografia RVG

Todos os marcos foram referenciados à Rede Geodésica de Primeira ordem do IBGE e foram ocupados por receptores geodésicos GNSS de dupla frequência e dupla constelação, com precisão nominal superior ou igual a 5 mm + 1 ppm. As monografias são apresentadas no Anexo 01.

O método adotado para a determinação das coordenadas tridimensionais de cada marco foi o de posicionamento relativo estático, com uso de no mínimo 3 (três) Vértices de Referência para o transporte de coordenadas.

A Figura ilustra a técnica empregada para rastreamento GNSS neste trabalho.

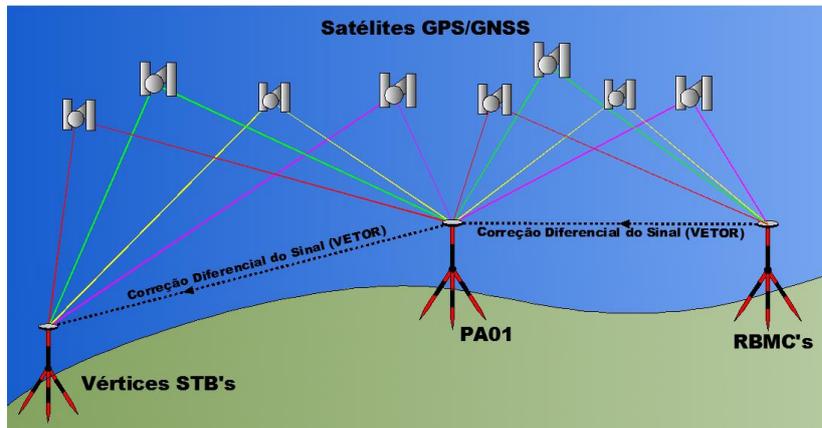


Figura 5 - Acervo Topocart

Os marcos foram rastreados com apoio de um tripé para o bastão de suporte das antenas e base nivelante, de modo a aumentar a confiabilidade da estabilidade nos rastreios.

O tempo de coleta das informações GNSS e a qualidade dos pontos levantados atenderão as seguintes especificações:

- Equipamentos com dupla frequência, posicionamento relativo estático com precisão nominal superior ou igual a 5mm+1ppm;
- Tempo de rastreamento em duas seções de pelo menos duas horas cada uma com variação da altura da antena;
- Informações das órbitas dos satélites (Precisas, Rápidas ou Transmitidas) quando necessárias;
- Observação mínima e simultânea de 6 satélites nos períodos de rastreamento;
- PDOP inferior a 4.
- Máscara de elevação não inferior a 10°;
- Utilização de Vértices de Referência para o transporte de coordenadas do apoio;
- Utilização do apoio, como Vértice de Referência Local para o transporte de coordenadas dos Vértices das Seções batimétricas, quando necessário;
- Sistema de Referência SIRGAS2000, para saída dos resultados;
- Intervalo de gravação não superior a 15 (quinze) segundos;
- Ficha conforme o modelo do Anexo 01 obtido no documento "Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos - GPS" publicado pelo IBGE em abril de 2008; e

- Menor número para os coeficientes de Diluição da Precisão - DOP da geometria dos satélites.

O processamento das determinações do apoio básico, foram realizados utilizando-se o software Trimble Business Center, versão 3.03, seguindo a descrição da metodologia e as especificações abaixo:

- Sistema de Referência SIRGAS2000, para processamento, ajustamento e entrega dos resultados;
- Utilização de vetores independentes;
- Os ruídos resultantes dos rastreios dos satélites foram avaliados e eliminados quando os mesmos influenciaram significativamente na média da dispersão dos sinais rastreados; e
- O processamento foi desenvolvido adotando a metodologia *Iono Free Fixed* para linhas de base menores do que 50 km e *Iono Free Float* para linhas de base maiores do que 50 km.

No processamento dos vetores foram analisadas as precisões de linhas de base obtidas. Após o ajustamento das observações, como fatores limitantes, foram aceitos apenas os valores de precisões pontuais não superiores a 10 cm nas componentes horizontais e 10 cm na altitude geométrica.

4.4. Nivelamento geométrico do Apoio Básico (RVG)

Foram efetuadas linhas de nivelamento e contra nivelamento geométrico, partindo de RN oficiais do IBGE até os marcos da RVG. Este nivelamento foi executado com nível digital de modo a evitar erros grosseiros relacionados a anotações indevidas. A precisão das linhas de nivelamento foram de 3mm por km em seu duplo nivelamento.

O nivelamento adotou os seguintes critérios técnicos:

- de forma dupla (nivelamento e contranivelamento), na qual a diferença dos resultados de ambos não podem ser superiores a $3\text{ mm}\sqrt{K}$ e a variável K corresponde a distância média nivelada em quilômetros;
- por visadas iguais e inferior a 40 metros, com erro na equidistância de ré e de vante inferior a 5% do comprimento total do lance;
- com miras verticalizadas sobre as RRNN ou sobre os pontos de passagem, sendo empregado para tal um nível de cantoneira;
- com leituras praticadas anterior de 50 centímetros do solo para evitar turbulências decorrentes da reverberação;
- com leituras praticadas a seguir de 3,5 metros na mira para evitar a falta de verticalidade da mesma decorrente o efeito do vento;

- com leituras do fio nivelador (médio) e dos estadimétricos (superior e inferior), sendo que a diferença tolerável entre a média desses últimos com a leitura do fio nivelador é de 2 milímetros.

Os arquivos oriundos do nivelamento geométrico são apresentados no Anexo 02.

No anexo 3 são apresentados os quantitativos dos levantamentos de campo.

4.4.1. Circuito de Nivelamento Realizado

A Tabela abaixo descreve um resumo do circuito com as informações do ponto de partida, chegada e suas respectivas altitudes ortométricas além da distância percorrida pelo nivelamento, o erro máximo permitido para a tolerância especificada e o erro de fechamento do nivelamento.

Tabela 2 - Resumo do Circuito 1, Nivelamento Geométrico.

Circuito 01			TRECHO: RN115D - RN115D		
PARTIDA:	PONTO	COTA	CHEGADA:	PONTO	COTA
		RN115D		475.6517	
Distancia:	42211.3	Tolerância(03 mmVK): 0.0195		Erro:	-0.0017
Obs.: Todas as medidas em metros, exceto quando indicado.					
Distância percorrida p/ nivelamento e contra: 42.2km					
Tolerância de fechamento (03 mmVK) = 19.5mm					
Conclusão: Nivelamento atende as precisões estabelecidas para classe					

4.5. Resultados Obtidos

A Tabela a seguir apresenta as coordenadas dos Vértices implantados para RVG e utilizados neste trabalho.

Tabela 3- Lista de Coordenadas dos Vértices da RVG

Vértice	SISTEMA DE REFERÊNCIA SIRGAS 2000,4								
	COORDENADAS UTM - F22			COORDENADAS GEODÉSICAS			Altitude Geométrica (m)	σ	Altitude Ortométrica (m)
	Leste (m)	σ	Norte (m)	σ	Latitude (° ' ")	Longitude (° ' ")			
SB01	668395.472	0.006	7568498.176	0.003	S21°58'47.71792"	O43°22'08.32670"	470.433	0.014	474.733
SB02	668778.889	0.016	7568370.304	0.016	S21°58'51.74220"	O43°21'54.91414"	499.521	0.040	503.869
SB03	669218.133	0.027	7568356.271	0.020	S21°58'52.04568"	O43°21'39.59782"	538.223	0.067	542.589
SB04	669481.405	0.027	7568610.318	0.022	S21°58'43.69457"	O43°21'30.51575"	555.293	0.068	559.674
SB05	669044.060	0.035	7568575.544	0.019	S21°58'44.97742"	O43°21'45.74739"	437.231	0.059	441.560
SB06	669138.405	0.032	7568725.494	0.027	S21°58'40.06957"	O43°21'42.51474"	434.504	0.072	438.823
SB07	668917.969	0.035	7568753.381	0.027	S21°58'39.23958"	O43°21'50.20886"	436.520	0.086	440.828
SB08	668829.134	0.031	7568836.819	0.025	S21°58'36.55777"	O43°21'53.33644"	440.051	0.076	444.384
SB09	668754.079	0.018	7568598.449	0.015	S21°58'44.33354"	O43°21'55.86387"	441.561	0.044	445.888
SB10	668594.849	0.014	7568515.376	0.014	S21°58'47.08960"	O43°22'01.38331"	454.061	0.036	458.393

5. MODELO GEOIDAL LOCAL

De posse dos vértices da RVG, foi verificada a qualidade do Modelo Geoidal 2015 disponibilizado pelo IBGE (MAPGEO2015-v1). Os resultados encontrados são apresentados a seguir:

Tabela 4 - Análise MAPGEO2015-v1

SISTEMA DE REFERÊNCIA SIRGAS 2000,4			
Vértice	N (Real)	N (MAPGEO 2015)	N (Real) x N (MAPGEO 2015)
SB01	-4.30	-4.39	-0.09
SB02	-4.35	-4.40	-0.05
SB03	-4.37	-4.41	-0.04
SB04	-4.38	-4.42	-0.04
SB05	-4.33	-4.41	-0.08
SB06	-4.32	-4.41	-0.09
SB07	-4.31	-4.40	-0.09
SB08	-4.33	-4.40	-0.07
SB09	-4.33	-4.40	-0.07
SB10	-4.33	-4.40	-0.07

Média	-0.07
Mediana	-0.07
Desvio Padrão	0.02
Máxima	-0.04
Mínima	-0.09

Os resultados encontrados apresentam qualidade superior a 20cm. Desse modo foi adotado o MAPGEO2015 para determinação das ondulações geoidal na região. O desenho representando o MAPGEO2015-v1 esta apresentado no Anexo 4.

As Ondulações geoidal dos demais pontos foram calculadas a partir das altitudes geométricas e ortométricas, através da seguinte equação aproximada:

$$H = h - N$$

Onde:

H= Altitude Ortométrica;

h= Altitude Geométrica;

N= Ondulação Geoidal

A Figura abaixo ilustra a obtenção da Altitude Ortométrica.

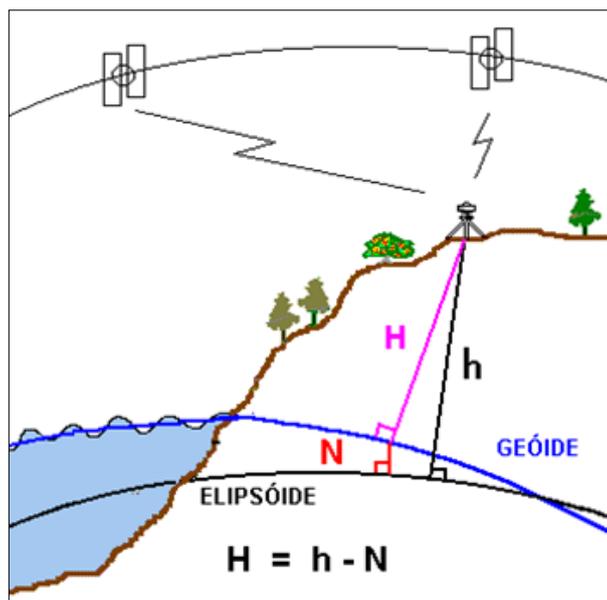


Figura 6 - Ondulação Geoidal. Fonte: IBGE

Na geração das isolinhas de ondulação do Modelo Geoidal, foi utilizado o software *AutoCAD Civil 2010 3D*. O software representa as isolinhas por aproximação de valores segundo as distâncias entre os vértices e as variações de ondulação dos mesmos.

A Figura a seguir mostra um exemplo do Modelo Geoidal.

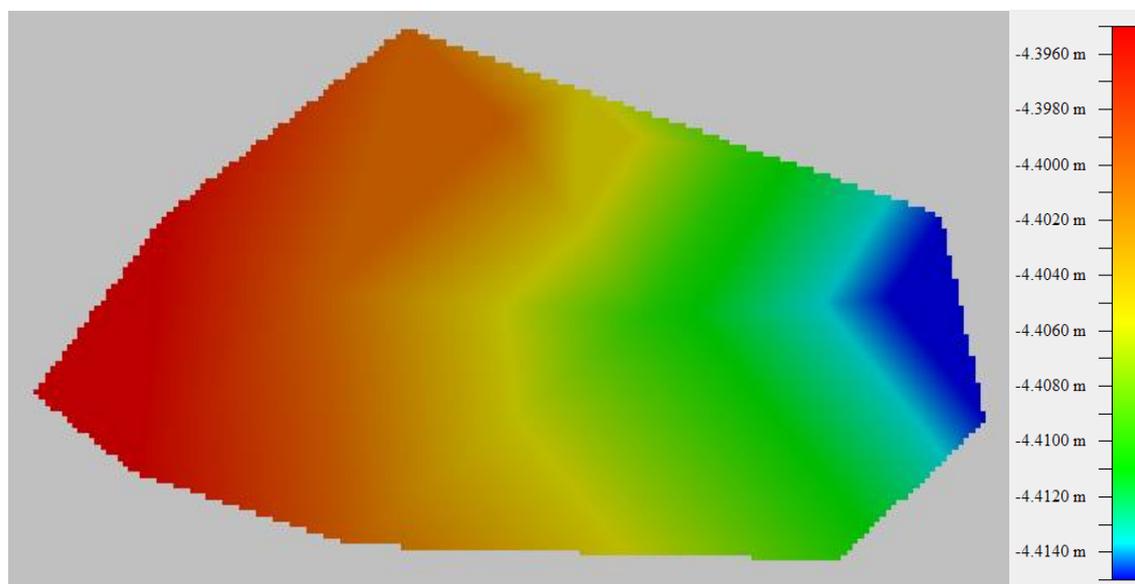


Figura 7 - Modelo Geoidal

6. LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO

Os levantamentos das Seções Batimétricas foram realizados para conhecimento e detalhamento das áreas submersas do reservatório. Os produtos resultantes dos Levantamentos

Batimétricos em conjunto com a cartográfica existente resultaram como base para geração das curvas Cota x Área e Cota x Volume.

Na execução dos levantamentos batimétricos, assim como nas demais etapas que compõem o referido projeto, foram observadas todas as premissas constantes nos anexos do processo. Essas premissas quando confrontadas com os trabalhos em campo e escritório, resultaram na obtenção de coordenadas geodésicas tridimensionais para geração dos produtos finais de cada serviço realizado.

Os levantamentos batimétricos automatizados foram realizados a bordo de embarcações adequadas para cada região, utilizando-se de ecobatímetros para medição de profundidades numa alta taxa de amostragem. Estes levantamentos buscam a redução do tempo de execução e um alto grau de eficiência, garantindo a coleta mínima de 1 ponto a cada 2 m ao longo da linha de sondagem percorrida.

A embarcação atende as exigências de segurança indicadas pela Marinha do Brasil; além dos itens de segurança dos embarcados como coletes salva-vidas, rádio de comunicação, dentre outros.

O princípio fundamental de funcionamento de um ecobatímetro consiste na transmissão vertical de um feixe de ondas sonoras ou ultrassonoras por um emissor instalado na embarcação de sondagem, chamado transdutor. As ondas sonoras emitidas pelo transdutor atravessam o meio líquido e atingem o fundo. Parte da energia refletida, o eco, retorna a superfície, onde é detectada pelo transdutor, o tempo decorrente da emissão e recepção da onda sonora é então medido pelo ecobatímetro. Conhecendo-se a velocidade de propagação do som na água é possível medir a profundidade.

Para minimizar a influência da temperatura, pressão e salinidade do curso d'água no sensor, e precisão das medidas de profundidade, é necessário realizar uma calibração do ecobatímetro. A calibração consiste em utilizar uma chapa metálica circular, de 30 a 40 mm de diâmetro, fixada a um cabo de aço graduado, arriada abaixo do transdutor. Sabendo-se a profundidade já submersa da placa (observando-se a graduação no cabo de aço), verifica-se se a profundidade indicada pelo ecobatímetro está correta, altera-se a velocidade do som, se necessário, até que as profundidades verificadas no ecobatímetro e no cabo de aço sejam iguais.

6.1. Calibração do ecobatímetro

A calibração do ecobatímetro foi realizada no início e final da coleta das sessões de informações ou sempre que houver um grande deslocamento para levantamento em outra área.

O procedimento é feito de forma automática e leva em consideração o ajuste da velocidade do som e da embarcação, o relevo potencial e outros parâmetros, até que o valor mostrado no display do

equipamento coincida com o valor determinado pela medição da profundidade no ponto de partida (esta realizada com um bastão graduado).

Eleva-se a placa, executando-se paradas em intervalos regulares de profundidades a cada metro, deixando o ecobatímetro registrar a cada parada o valor calibrado. A figura a seguir ilustra a calibração do ecobatímetro.

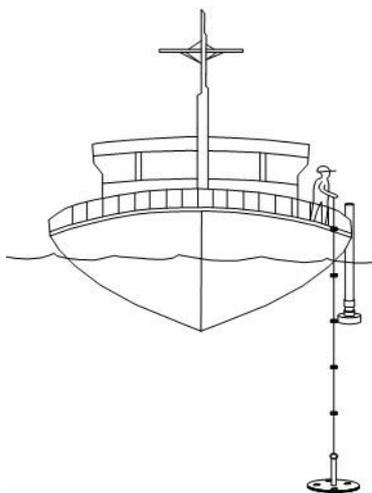


Figura 8 - Acervo Topocart

Adotou-se uma distância para imersão de 0,30 m, velocidade do som de 1470 m/s na coluna, conforme identificação de registro do software, velocidade média de embarcação 10 km/h e podendo ser coletadas informações até 80 m de profundidade.

Concluída a calibração do ecobatímetro, esse proporcionou precisão igual ou melhor a 0,2% da profundidade.

6.2. Execução do Levantamento Batimétrico

O levantamento batimétrico foi realizado seguindo as prescrições da DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação). Primeiramente realizou-se o planejamento do levantamento, seguido da coleta de dados, processamento e geração da malha de pontos do fundo do açude.

6.2.1. Planejamento

Com o software Hydromagic e uma planta com os limites das margens do reservatório nas proximidades das Seções Batimétricas e ainda com seções a serem medidas, foram planejadas linhas de navegação regulares. As linhas regulares foram projetadas de forma perpendicular ao curso do rio. A figura a seguir apresenta o modelo do plano de navegação no software Hydromagic.

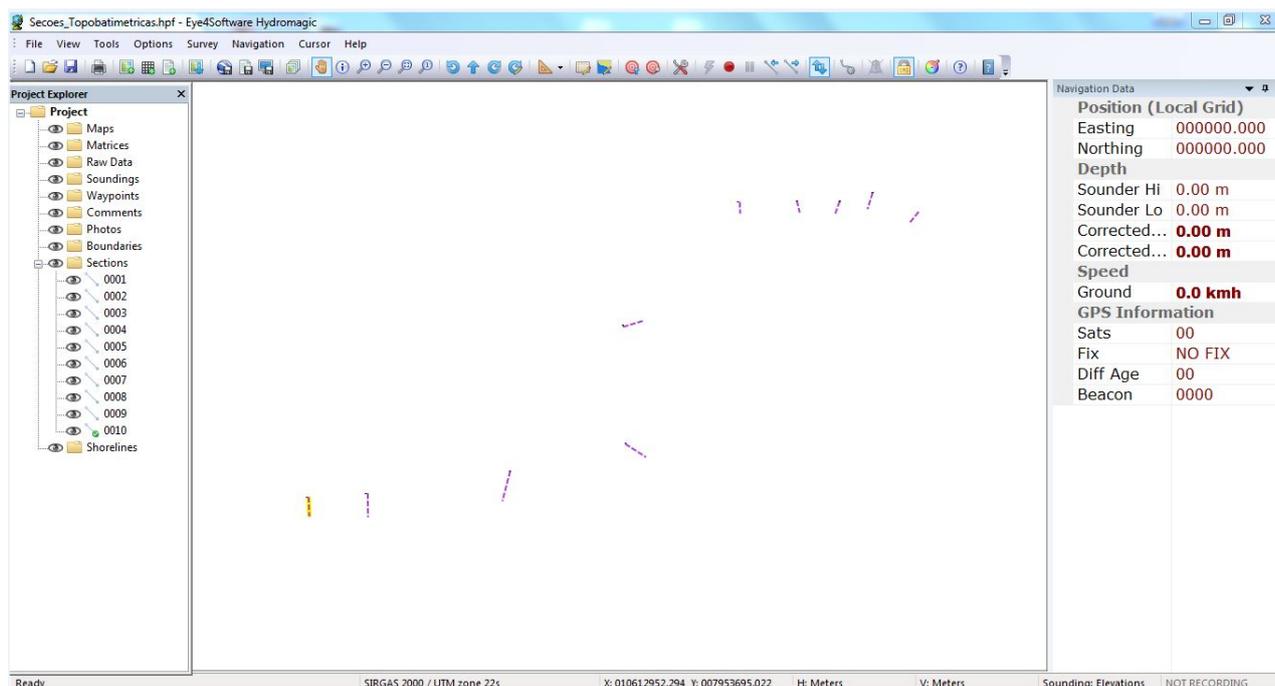


Figura 9 - Acervo Topocart

6.2.2. Coleta das Informações

O levantamento batimétrico foi realizado a partir de uma estação móvel composta pela embarcação, o ecobatímetro de feixe único, um notebook com o software Hydromagic em execução, um bastão para calibração do ecobatímetro e baterias para alimentar os equipamentos.

As coletas de informações foram determinadas pelo ecobatímetro que permitem leituras digitais de profundidade e possui precisões que atendem ou excedem todos os requisitos atuais da DHN para levantamentos monofeixe.

Ao início dos levantamentos foi preenchida uma planilha com os campos: Nome da Embarcação, Condutor da Embarcação, Operador de Batimetria, Data, Hora da Calibração, Profundidade Utilizada na Calibração, Velocidade do Som Adotada no Levantamento, Profundidade do Transdutor, Horário de Início do Levantamento e Horário de Fim do Levantamento.

Para a obtenção das profundidades com o ecobatímetro foi necessário somar aos valores das sondagens a altura de imersão do transdutor do ecobatímetro, conhecido como draft. O valor do draft está associado à montagem da estação móvel e o peso em seu interior. Sendo assim, o draft foi medido quando todos os equipamentos e componentes da equipe estavam a bordo da embarcação de sondagem e em seus devidos lugares.

O posicionamento planimétrico das profundidades coletadas foi realizado através do sistema de posicionamento.

O sistema de posicionamento foi interligado com o ecobatímetro através do software Hydromagic, registrando simultaneamente, em tempo real, o posicionamento planimétrico e a sondagem, conforme ilustrado no fluxograma da figura a seguir.

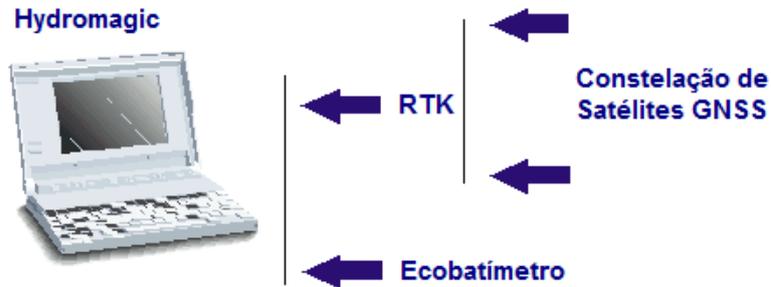


Figura 10 - Acervo Topocart

O software Hydromagic também gera continuamente uma simulação visual em tempo real da navegação, com base na posição calculada pelo sistema, possibilitando, desta forma, a interação do operador e do timoneiro para manter a embarcação de sondagem navegando ao longo das linhas planejadas, podendo-se, inclusive, visualizar o afastamento da embarcação em relação à linha planejada, evitando-se derivas, conforme ilustrado nas figuras a seguir.



Figura 11 - Acervo Topocart

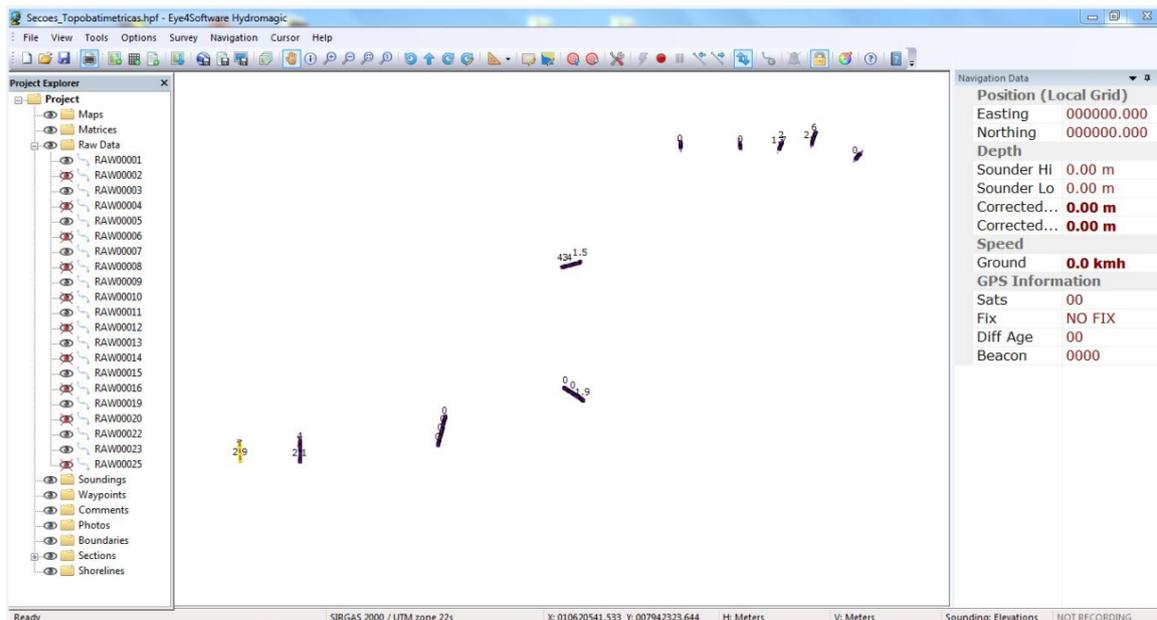


Figura 12 - Acervo Topocart

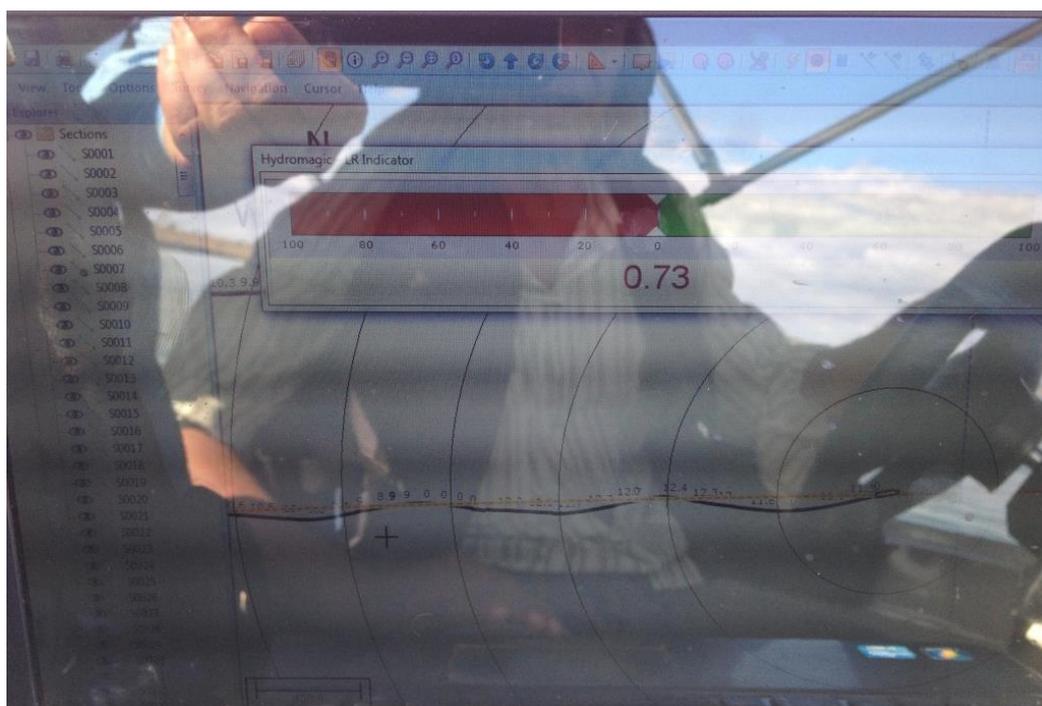


Figura 13 - Acervo Topocart

6.2.3. Variação do Nível d'Água

Em função do fluxo de água no reservatório, para referenciar todos os levantamentos executados ao SGB (referencial altimétrico oficial) foi necessário o levantamento dos níveis d'água nas regiões da batimetria. Esse levantamento foi realizado todos os dias em que ocorreram as missões de coleta. A seguir são apresentados os valores dos níveis calculados.

Tabela 5 - Nível d'água

SISTEMA DE REFERÊNCIA SIRGAS 2000,4						
COORDENADAS UTM - F22						
Vértice	Leste (m)	Norte (m)	Altitude Ortométrica (m)	Data	Horário	Réguas (m)
NA01	668854.033	7568573.957	437.177	10/07/2017	14:24	437.079
NA02	668810.647	7568773.346	437.135	10/07/2017	14:32	437.037
NA03	668986.131	7568508.312	437.146	10/07/2017	14:50	437.048
NAS01	668853.596	7568573.856	437.093	11/07/2017	10:33	436.995
NAS02	668759.134	7568678.158	437.118	11/07/2017	10:21	437.02
NAS03	668839.420	7568747.115	437.109	11/07/2017	10:11	437.011
NA04	668986.129	7568508.323	437.135	10/07/2017	14:54	437.037

Este método visa conhecer as leituras de profundidades com referência à lâmina d'água instantânea, esses níveis estão indicados nos desenhos entregues com menção das datas e horários de coleta.

6.2.4. Processamento

O tratamento dos dados batimétricos inicia-se com processamento no software Hydromagic. A primeira etapa consisti em verificar a ocorrência de clarões (feriados) na área sondada. Esse processo foi realizado analisando os arquivos brutos de forma manual.

Esse processo corresponde à visualização do “ecograma digital” para retirada de profundidades espúrias (spikes), conforme ilustrado nas figuras a seguir.



Figura 14 - Acervo Topocart



Figura 15 - Acervo Topocart

6.3. Análises dos dados

Os dados obtidos nos levantamentos batimétricos foram devidamente analisados no próprio local da batimetria. Durante a fase de processamento os perfis digitais foram comparados com os registros do ecobatímetro, sendo que todos os dados espúrios (specks) foram eliminados.

Após a edição dos dados, foi realizado o processo das sondagens pelo método sort do programa Hydromagic, gerando um arquivo “*.xyz” que contém os valores de coordenadas e profundidade.

Posteriormente, os arquivos “*.xyz” do Levantamento Batimétrico foram integrados e importados para o software CAD, verificando-se o comportamento do registro das informações coletadas.

Além dos arquivos CAD, foram fornecidos os ecogramas (impresso e digital) de todo o levantamento, indicando horário de início e fim de cada seção.

Os produtos finais dos levantamentos do trecho montante do reservatório permitem a delimitação da área do reservatório, bem como seu volume hídrico, incluindo a definição da geometria do fundo do talvegue. No Anexo 5 são apresentados os relatórios de processamento, registros fotográficos e arquivos brutos.

7. IMPLANTAÇÃO DAS SEÇÕES DE CONTROLE

Foram implantadas um conjunto de seções de controle, composta de 3 unidades. O posicionamento e a equidistância foram informadas pela Votorantim Energia e apresentadas a seguir:



Figura 16 - Seções de Controle

7.1. Implantação de Vértices para Seções de Controle

Cada seção de controle (seção topobatimétrica) foi materializada em campo por meio de dois marcos de concreto, posicionados em ambas as margens do reservatório, sobre o álveo, afastado do local da linha de operação normal do empreendimento, preferencialmente após a linha maxi maximorum, de forma intervisível e que o alinhamento dos mesmos encontre-se perpendicularmente ao fluxo do corpo hídrico.

Os marcos serviram de Apoio às Seções Topobatimétricas de Controle, sendo estes as referências de partida dos levantamentos realizados para cada Seção de estudo.

As coordenadas foram obtidas através de vetores formados a partir dos Vértices de Referência utilizados, todos com amarração à RVG (consequentemente ao Sistema Geodésico Brasileiro).

Os marcos foram implantados em locais escolhidos estrategicamente situados próximos às Seções Topobatimétricas de Controle, em locais abertos, onde a cobertura vegetal permitiu o rastreamento dos mesmos com auxílio de receptores GNSS.

O método adotado para a determinação das coordenadas tridimensionais de cada vértice foi o de posicionamento relativo estático. Para as determinações através do rastreamento de satélites foram utilizados os seguintes procedimentos e configurações:

- ✓ Tempo de rastreamento com um mínimo de 2 horas em cada vértice;
- ✓ Informações das órbitas dos satélites (Precisas, Rápidas ou Transmitidas) quando necessárias;
- ✓ Máscara de elevação não inferior a 10°;
- ✓ Sistema de Referência SIRGAS2000, para saída dos resultados;
- ✓ Utilização de vetores independentes;
- ✓ Intervalo de gravação não superior a 5 (cinco) segundos;

Os vértices receberam nomenclatura com prefixo “M” (monitoramento), “D” ou “E” (direita e esquerda) e numeração sequencial a contar da seção mais a montante (ME1) para jusante (ME3); e foram implantados nas margens do Reservatório materializados por marcos de concreto. A seguir são apresentadas fotografias dos vértices implantados, na sequência é apresentado o modelo com as dimensões dos marcos implantados.



Figura 17 - Seção 1 - MD01 e ME01



Figura 18 - Seção 2 - MD02 e ME02



Figura 19 - Seção 3 - MD03 e ME03

Em termos construtivos, os marcos de concreto apresentam formato tronco-piramidal, com base inferior de 0,20m por 0,20m, base superior de 0,12m por 0,12m e altura de 0,30m, aflorando cerca de 0,10m do solo. Cada marco de concreto foi encabeçado por uma chapa de metal não ferroso com 0,06m de diâmetro e pino de 0,07m de altura, com inscrições: a) Nome do Empreendimento; b) Nome do Marco (vértice); e c) Expressão “Protegido por Lei”.

A Tabela a seguir apresenta as coordenadas dos Vértices Implantados:

Tabela 6 - Lista de Coordenadas dos Vértices Implantados

Vértice	SISTEMA DE REFERÊNCIA SIRGAS 2000,4										
	COORDENADAS UTM - F22				COORDENADAS GEODÉSICAS				Altitude Geométrica (m)	σ	Altitude Ortométrica (m)
	Leste (m)	σ	Norte (m)	σ	Latitude (° ' ")	Longitude (° ' ")					
MD01	668845.990	0.007	7568562.011	0.007	S21°58'45.48624"	O43°21'52.64656"	440.975	0.008	445.375		
MD02	668752.098	0.010	7568677.005	0.010	S21°58'41.78026"	O43°21'55.96217"	439.350	0.012	443.750		
MD03	668783.205	0.010	7568776.671	0.010	S21°58'38.52921"	O43°21'54.91498"	443.603	0.013	448.003		
ME01	668906.748	0.009	7568655.600	0.009	S21°58'42.42245"	O43°21'50.56356"	433.748	0.015	438.148		
ME02	668849.770	0.009	7568692.807	0.009	S21°58'41.23261"	O43°21'52.56349"	440.515	0.018	444.915		
ME03	668852.225	0.007	7568740.308	0.007	S21°58'39.68744"	O43°21'52.49563"	438.443	0.014	442.843		

7.2. Levantamento Topobatimétrico

A etapa de Levantamento Topobatimétrico das Seções de Controle é caracterizada pela coleta de informação posicional na superfície seca/molhada de cada ponto pertencente às seções pré-estabelecidas nas áreas de interesse.

O levantamento tem como pontos de partida os vértices implantados nas margens do Reservatório.

No levantamento os dados foram medidos em tempo real e armazenados para posterior validação em escritório.

Os serviços foram realizados ao longo do alinhamento de cada Seção levantando-se pontos na parte seca a cada 10 m e/ou a cada diferença de altitude do relevo maior que 50 cm.

Foram levantados todos os pontos de detalhes topográficos de interesse, tais como inflexões do terreno, drenagens com indicação de direção, afloramentos rochosos, estradas e outros. Quando necessário, foram levantados pontos fora do alinhamento para melhor caracterização desses detalhes.

Os trechos molhados (do Reservatório) de cada Seção foram levantados por batimetria. Os pontos registrados foram levantados através da medição da profundidade do rio por coleta de profundidade com ecobatímetro.

O espaçamento utilizado para os pontos coletados na batimetria foi no máximo de 2 m, o mesmo utilizado para o levantamento batimétrico do Reservatório.

Os Níveis d'Água - NA's do início e final da medição de cada seção batimétrica foram lidos, e também anotados o dia e hora correspondentes. As profundidades foram medidas a partir da cota do NA referido a uma mesma data e hora.

Foram gerados os desenhos das Seções Topobatimétricas contendo todos os pontos do Levantamento. Esses desenhos foram sistematizados e padronizados, e estão apresentados no Anexo 6, bem como os arquivos brutos e registros fotográficos.

8. MODELO DIGITAL DO RESERVATÓRIO

Foram compatibilizadas as informações resultantes da Batimetria e da Base Cartográfica até a cota Máxima Maximorum do reservatório (439,74m), de modo a serem apresentadas em um único sistema de projeção e de acordo com os parâmetros de transformação planialtimétricos oficiais do IBGE. A Base Cartográfica foi disponibilizada pela Votorantim Energia.

Para a UHE Sobragi foi gerado um modelo 3D único, contendo a malha de pontos contínua (curvas de nível + pontos batimétricos) onde foram interpoladas e gerado modelo digital do terreno para toda a área de influência. A seguir, a Figura ilustra o modelo resultante desta composição.

O MDT resultante apresenta precisão compatível com a escala da Base Cartográfica. O produto final passou por controle de qualidade antes de sua emissão final.

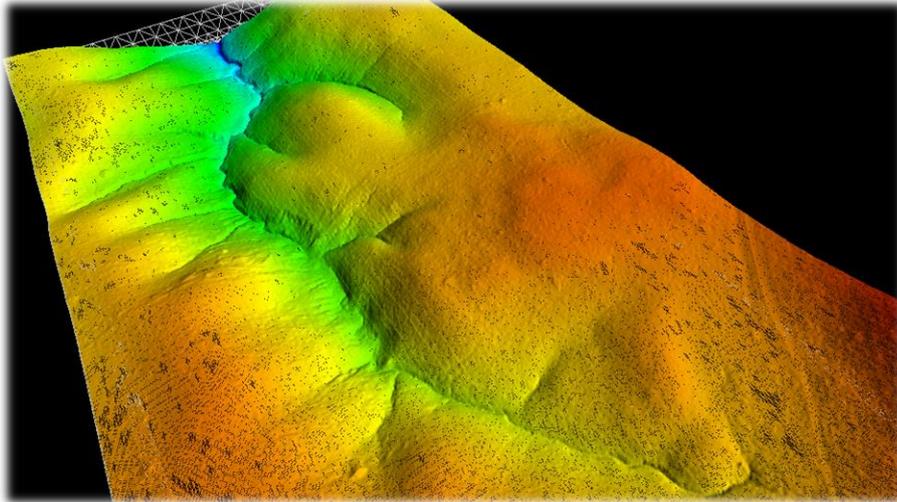


Figura 20 - Acervo Topocart

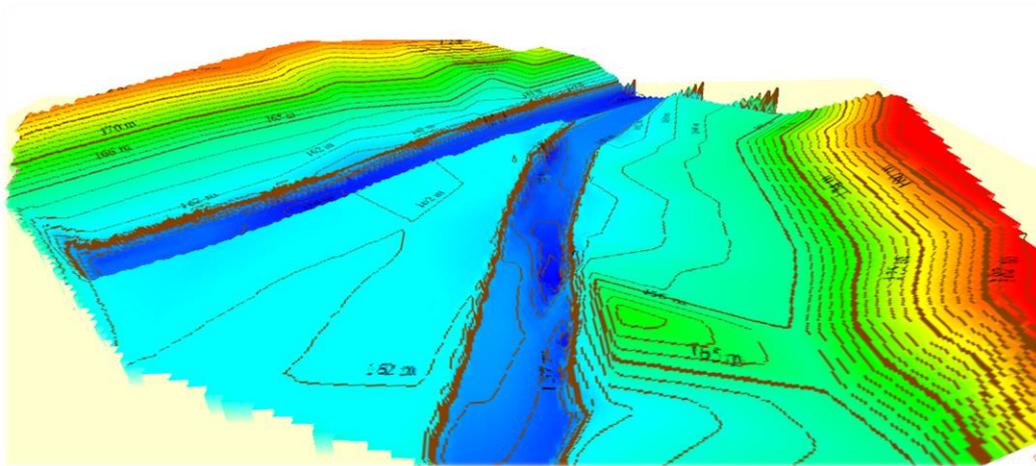


Figura 21 - Acervo Topocart

Reitera-se que todos os produtos e insumos estão apresentados no Anexo 07, os vetores resultantes da junção entre a base cartográfica (cota máxima maximorum) e batimétrica (CAD – DWG), os registros de campo, os arquivos brutos dos equipamentos e finalmente o relatório técnico e as peças técnicas.

9. GERAÇÃO DAS CURVAS Cota x Área x Volume

Após a geração do modelo 3D, foram elaboradas as curvas Cota x Área e Cota x Volume, utilizando-se do software ArcGIS versão 10.3 e rotina desenvolvida em linguagem Python, realizando o fatiamento a cada 1cm.

A ferramenta calcula a área e o volume de uma superfície raster (nesse caso o MDT) em função de um determinado plano de referência especificado, as cotas objetivadas.

Os cálculos de área e volume relatados pela ferramenta são baseados sobre a extensão dos pontos espaçados regularmente do MDT.

Em análise ao relatório fornecido pela Votorantim Energia, foi identificado um RN em cota local correspondente a 441,20m. Esse mesmo RN consta no relatório com valor de cota IBGE correspondente a 441,16m. Dessa forma observa-se um “delta” de 4cm, sendo as cotas do IBGE 4cm menores em relação a cota local.

Na tabela a seguir estão apresentados um resumo dos dados de área e volume para cada cota (Anexo 8).

ELEVAÇÃO Local (m)	ELEVAÇÃO SGB (m)	ÁREA		VOLUME		ELEVAÇÃO SGB (m)
		m ²	Km ²	m ³	hm ³	
439.51	439.47	33686.37	0.03	165345.88	0.17	439.47
439.52	439.48	33698.30	0.03	165682.93	0.17	439.48
439.53	439.49	33710.01	0.03	166019.90	0.17	439.49
439.54	439.5	33721.48	0.03	166357.04	0.17	439.5
439.55	439.51	33732.69	0.03	166694.28	0.17	439.51
439.56	439.52	33743.61	0.03	167031.73	0.17	439.52
439.57	439.53	33754.24	0.03	167369.31	0.17	439.53
439.58	439.54	33764.54	0.03	167707.03	0.17	439.54
439.59	439.55	33774.51	0.03	168045.01	0.17	439.55
439.6	439.56	33784.08	0.03	168382.84	0.17	439.56
439.61	439.57	33793.22	0.03	168721.06	0.17	439.57
439.62	439.58	33801.85	0.03	169059.41	0.17	439.58
439.63	439.59	33809.95	0.03	169397.70	0.17	439.59
439.64	439.6	33817.56	0.03	169736.16	0.17	439.6
439.65	439.61	33824.66	0.03	170074.75	0.17	439.61
439.66	439.62	33831.25	0.03	170413.24	0.17	439.62
439.67	439.63	33837.36	0.03	170751.91	0.17	439.63
439.68	439.64	33843.00	0.03	171090.61	0.17	439.64
439.69	439.65	33848.14	0.03	171429.29	0.17	439.65
439.7	439.66	33852.80	0.03	171768.07	0.17	439.66
439.71	439.67	33856.96	0.03	172107.00	0.17	439.67
439.72	439.68	33860.64	0.03	172446.01	0.17	439.68
439.73	439.69	33863.86	0.03	172785.10	0.17	439.69
439.74	439.7	33866.63	0.03	173124.04	0.17	439.7

A figura a seguir apresenta o gráfico das Curvas CAV.

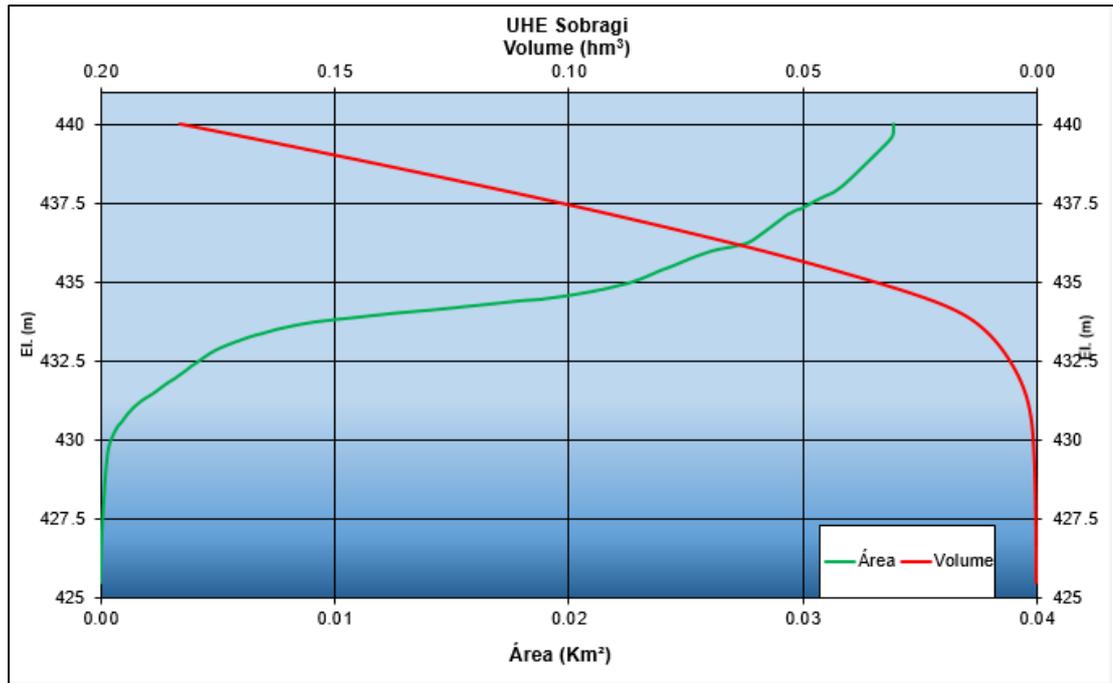


Figura 22 – Cota x Área x Volume

Os polinômios para cada uma das curvas estão apresentados a seguir:

Polinômio Curva Cota x Área

$$y = -5135.3x^2 + 453.03x + 428.77$$

Polinômio Curva Cota x Volume

$$y = -531.86x^2 + 144.14x + 429.48$$

No Anexo 08 está apresentado planilha com as informações de Cota x Área x Volume (xls), além do gráfico.

10. CONTROLE DE QUALIDADE

O Controle de Qualidade dos serviços executados visam garantir e atender à qualidade prevista para os levantamentos. Todas as fases de execução dos trabalhos passaram por controle, iniciando com a checagem do tipo de equipamento utilizado, bem como seu perfeito funcionamento.

Foram avaliados os vértices de referência, completude das informações coletadas e conferência dos arquivos recebidos.

Para os produtos batimétricos, foram avaliados os vetores processados e verificadas as precisões de todas as coordenadas (desvios-padrão de E, N, h) e ainda da resultante das componentes dos desvios-padrão.

Por fim foi realizada a validação das seções com o levantamento batimétrico realizado para área entre a seções mais à montante, e aquela mais a jusante.

ANEXO 01 – REDE VÉRTICES GEODÉSICOS

ANEXO 02 – NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

ANEXO 03 – ARQUIVOS KMZ

ANEXO 04 – MODELO GEOIDAL LOCAL

ANEXO 05 – LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO

ANEXO 06 – SEÇÕES DE CONTROLE

ANEXO 07 – MODELO DIGITAL

ANEXO 08 – C x A x V