

UHE Itutinga

Relatório Técnico

Atualização das Curvas Cota x Área x Volume



Contratante: CEMIG GERAÇÃO E TRANSMISSÃO S.A
Contratado: RURAL TECH COMÉRCIO E SERVIÇOS EIRELI

CONTRATO DE SERVIÇOS DE TOPOGRAFIA, BATIMETRIA, GEOPROCESSAMENTO E AQUISIÇÃO DE PRODUTOS DE AEROLEVANTAMENTO PARA O PROCESSO DE ATUALIZAÇÃO DAS CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME COM ELABORAÇÃO DE BASE CARTOGRÁFICA PARA ATENDIMENTO AO ART. 8 DA RESOLUÇÃO CONJUNTA ANA/ANEEL Nº 3/2010.

UHE ITUTINGA

ITU-CAV-11-RT-AC01-R02

ELABORAÇÃO:
Eng. Lucas Amorim de Sá
Geofísico Kayque Bergamashci
REVISÃO:
Eng. Sergio Vieira Ballarin

JULHO - 2020

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	4
2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA CONTRATADA	4
2.1 CORPO TÉCNICO	5
3. OBJETIVO	5
4. ORGANIZAÇÃO DOS DADOS	6
5. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	6
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA	7
6. CLASSIFICAÇÃO DO RESERVATÓRIO QUANTO O POTENCIAL DE ASSOREAMENTO	8
6.1 POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS DA BACIA HIDROGRÁFICA (PSS)	8
6.2 POSIÇÃO DO RESERVATÓRIO NA CASCATA (PRC)	9
6.3 REGIME DE OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO (ROR)	10
6.4 MAGNITUDE E IMPORTÂNCIA DOS EFEITOS DO ASSOREAMENTO (MI)	11
6.5 DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE CRITICIDADE (NC)	11
7. LEVANTAMENTOS REALIZADOS	11
7.1 IMPLANTAÇÃO DA REDE DE VÉRTICES GEODÉSICOS - RVG	12
7.2 ELABORAÇÃO DO MODELO GEOIDAL LOCAL - MGL	14
7.3 MAPEAMENTO DA ÁREA MOLHADA	16
7.4 MAPEAMENTO DA ÁREA SECA	17
7.5 IMPLANTAÇÃO DAS SEÇÕES DE CONTROLE	18
8. PRODUTOS E RESULTADOS	19
8.1 MODELO DIGITAL DO TERRENO - MDT	19
8.2 CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME	20
<i>8.2.1 METODOLOGIA</i>	<i>20</i>
<i>8.2.2 CORRELAÇÃO DAS COTAS – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO (SGB) X COTA DE OPERAÇÃO (RÉGUA DA UHE JAGUARA)</i>	<i>22</i>

8.2.3	CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME.....	22
8.2.1	AVALIAÇÃO DE INCERTEZAS DAS CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME.....	41
8.2.2	COMPARAÇÃO DA CURVA NOVA COM A CURVA ANTIGA	41
8.3	CARTAS TOPOBATIMÉTRICAS	42
8.4	SEÇÕES DE MONITORAMENTO DE DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS.....	44
9.	CONCLUSÃO.....	47

RELAÇÃO DOS DOCUMENTOS TÉCNICOS APRESENTADOS

Relatório Técnico - Atualização Das Curvas Cota X Área X Volume

ANEXO 01 - Levantamentos Geodésicos

ANEXO 02 - Levantamentos Batimétricos



1. INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta as atividades técnicas de cartografia, batimetria e geodésia, executadas para a determinação das Curvas Cota x Área x Volume do reservatório da UHE Itutinga, localizado nos municípios de Itutinga e Nazareno, no estado de Minas Gerais. Os serviços de levantamentos geodésicos e batimétricos foram executados pela empresa Rural Tech, nos meses de fevereiro e março de 2016, conforme contrato da Cemig Geração e Transmissão S.A. nº 4570015626 - 510.

A Resolução Conjunta nº 3/2010 – ANA/ANEEL, em seu Artigo 8º, determina que para as usinas despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, o processo de assoreamento do reservatório deve ser avaliado com base na atualização das curvas Cota x Área x Volume. Este estudo deve ser realizado pelo concessionário ou autorizado da seguinte forma:

- I. para empreendimentos que, na data de publicação desta Resolução, estiverem em operação há oito anos ou mais, a atualização deverá ser feita no prazo de até 24 meses contados da data de publicação desta Resolução e, a partir da referida atualização, a cada 10 anos;
- II. para os demais empreendimentos não atingidos pelo inciso I, a atualização deverá ser realizada a cada 10 anos, contados a partir do início de sua operação comercial.

Dessa forma, este relatório contempla os materiais e métodos empregados nos levantamentos realizados pela equipe da Rural Tech, na atualização das curvas cota x área x volume, para atendimento dessa resolução pela UHE Itutinga.

2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA CONTRATADA

A Rural Tech foi fundada em novembro de 1984, em Brasília – DF, voltada para a área de projetos de irrigação e drenagem. Em 1994, a área de topografia, que sempre existiu dentro da área de projetos agrícolas, ganhou impulso com o uso de equipamentos de posicionamento global por recepção de sinais dos satélites GPS NAVSTAR.

Em 1997 a Rural Tech adquiriu aparelhos GPS de dupla frequência, com portadoras L1/L2 para realizar os serviços de Topografia e Geodésia. A Partir de 1999, iniciou sua atuação na área de batimetria, quando adquiriu o seu primeiro ecobatímetro com registro contínuo em papel térmico da marca Raytheon. Hoje a empresa conta com diversos ecobatímetros digitais monofeixe de simples e dupla frequência, ecobatímetros multifeixe e barcos projetados para uso em projetos de batimetria monofeixe e multifeixe.

Desde 1997, a Rural Tech sempre esteve envolvida com o uso de modernas tecnologias para a execução de levantamentos topográficos e batimétricos de estudos, projetos e obras de engenharia.

2.1 Corpo Técnico

Participaram da realização dos serviços os profissionais listados a seguir:

- Fábio de Novaes Filho – Diretor e Responsável Técnico;
- Sergio Vieira Ballarin – Engenheiro Civil e Responsável Técnico;
- Lucas Amorim de Sá – Engenheiro Cartógrafo e Responsável Técnico;
- Wellington de Oliveira Brito – Técnico em Geomensura e Coordenador de Campo;
- Kayque Bergamaschi Rodrigues Carneiro – Geofísico;
- Paulo Kleber Machado Mendes – Geofísico;
- Alan Soares Martins – Oceanógrafo;
- Raphael Laurindo Bonini – Engenheiro Florestal.

3. OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é a atualização das curvas cota x área x volume da UHE Itutinga, em atendimento à Resolução Conjunta ANA/ANEEL n^o 3 de 2010.

Para isso a contratada executou as seguintes atividades:

- Implantação da Rede de Vértices Geodésicos (RVG) do entorno do reservatório, por nivelamento geométrico e rastreamento GNSS L1/L2, a partir das RNs oficiais do IBGE mais próximas, com leitura dos níveis sobre a régua de operação localizada na barragem.

- Avaliação do MapGeo e determinação de um Modelo Geoidal Local (MGL) da região do reservatório.
- Mapeamento da área molhada por meio de tecnologia ensonificação do leito com sonar multifeixe e monofeixe de todo o espelho d'água do reservatório e braços.
- Implantação de Seções de Controle para o monitoramento do assoreamento.
- Construção do Modelo Digital do Terreno.

4. ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

Este trabalho é composto por um relatório técnico, denominado “*Atualização das Curvas Cota x Área x Volume*” e 2 (dois) anexos.

O Relatório Técnico, denominado “*Atualização das Curvas Cota x Área x Volume*”, contém a classificação do reservatório quanto ao nível de criticidade, o Modelo Digital do Terreno – MDT, as cartas topo batimétricas, as seções de controle e as curvas Cota x Área x Volume do reservatório de Jaguará.

O Anexo 01, denominado “Levantamentos Geodésicos”, apresenta todos os serviços realizados para a implantação da Rede de Vértices Geodésicos – RVG e elaboração do Modelo Geoidal Local – MGL, bem como as monografias dos marcos da RVG e a carta geoidal da região do reservatório.

O Anexo 02, denominado “Levantamentos Batimétricos”, inclui todos os procedimentos para o mapeamento da área molhada do reservatório por meio da tecnologia multifeixe e monofeixe, bem como os produtos resultantes do levantamento batimétrico.

5. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O Quadro 5-1 a seguir apresenta as características da Usina Hidrelétrica Itutinga.

Quadro 5-1 – Características do Empreendimento

Localização	Rio Grande
Bacia Hidrográfica	Bacia do Rio Grande

Sub-bacia hidrográfica	Alto do Rio Grande
Potência Declarada	52,00 MW
Unidades geradoras	4
Início de Operação	1955
Município margem direita	Itutinga – MG
Município margem esquerda	Nazareno - SP
Volume – Antes da Atualização (hm ³)	11,40

5.1 Caracterização da Bacia

A usina hidrelétrica Itutinga está localizada na bacia do Alto Rio Grande, na cachoeira de Itutinga, na divisa dos municípios de Itutinga e Nazareno, no sul do Estado de Minas Gerais, na bacia do Rio Grande. A Bacia Hidrográfica do Rio Grande situa-se na Região Sudeste do Brasil, na Região Hidrográfica Paraná que, em conjunto com as Regiões Hidrográficas Paraguai e Uruguai, compõe a Bacia do Prata.

A dominialidade dos cursos d'água da Bacia Hidrográfica do Rio Grande está dividida entre a União (12,37%) e os Estados de Minas Gerais (51,40%) e São Paulo (36,23%).

Nasce na Serra da Mantiqueira, no município de Bocaina de Minas (MG), a uma altitude aproximada de 1.980 metros. A partir das cabeceiras seu curso tem o sentido Sudoeste - Nordeste, até a divisa dos municípios de Bom Jardim de Minas e Lima Duarte, onde passa a escoar no sentido Sul - Norte até a altura de Piedade do Rio Grande. A partir daí seu curso tem sentido para Noroeste, sendo mantido até a divisa de Rifaina (SP) e Sacramento (MG), onde passa a correr no sentido Leste - Oeste até desaguar no rio Paraná, na divisa dos municípios de Santa Clara do Oeste, na vertente paulista, e Carneirinho, na vertente mineira.

Ao longo do seu curso 12 barragens estão instaladas: Camargos, **Itutinga**, Funil, Furnas, Marechal Mascarenhas de Moraes (ex-Peixoto), Estreito, Jaguará, Igarapava, Volta Grande, Porto Colômbia, Marimbondo e Água Vermelha.

6. CLASSIFICAÇÃO DO RESERVATÓRIO QUANTO O POTENCIAL DE ASSOREAMENTO

Os dados apresentados neste item 6 foram obtidos no documento PO/PE-001898/2014 – Revisão B, Plano de Trabalho da UHE Itutinga entregue a ANA pela CEMIG em junho de 2014.

6.1 Potencial de Produção de Sedimentos da Bacia Hidrográfica (Pss)

A UHE Itutinga está instalada na Bacia Hidrográfica do Rio Grande, na Sub-bacia do Alto do Rio Grande. Para a classificação do potencial de produção de sedimentos em função da “degradação específica” (perda de solo - Pss) expressa em ton/km²/ano, seguiu-se o estudo apresentado na publicação federal “Diagnóstico das Condições Sedimentológicas dos Principais Rios Brasileiros” (ELETROBRÁS/IPH, 2^a edição, 1998).

A Figura 6-1 mostra que a UHE está na Zona Mineira E6 com produção específica média de 250 ton/km²/ano. Devido à proximidade do reservatório de Camargos, à diferença entre os volumes de reservação e à ausência de tributários entre os dois empreendimentos, considera-se que a **UHE Itutinga** está na faixa de **Baixo Potencial (1)**, com Pss menor que 25 ton/km²/ano.



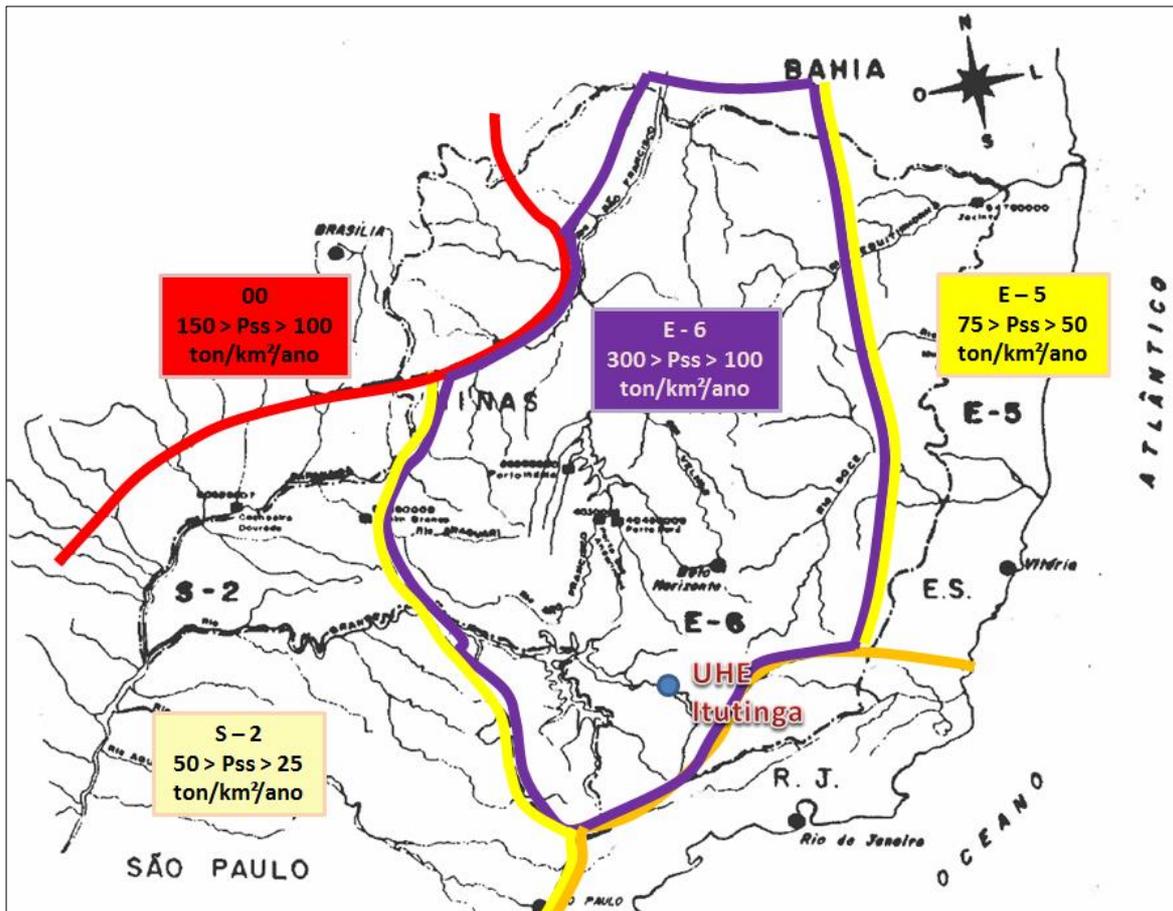


Figura 6-1 - Localização da UHE Itutinga e seu zoneamento hidrossedimentológico (ELETROBRÁS, 1998 – modificado)

6.2 Posição do Reservatório na Cascata (Prc)

A Figura 6-2 indica que a UHE Itutinga é segunda usina instalada na cascata do Rio Grande. A área de drenagem incremental é muito pouco significativa, totalizando 21,34 km² (0,3% da área de drenagem total). Sendo assim, a **UHE Itutinga** é classificada como um **Reservatório de jusante com pequena bacia incremental – Baixa suscetibilidade (1)**.

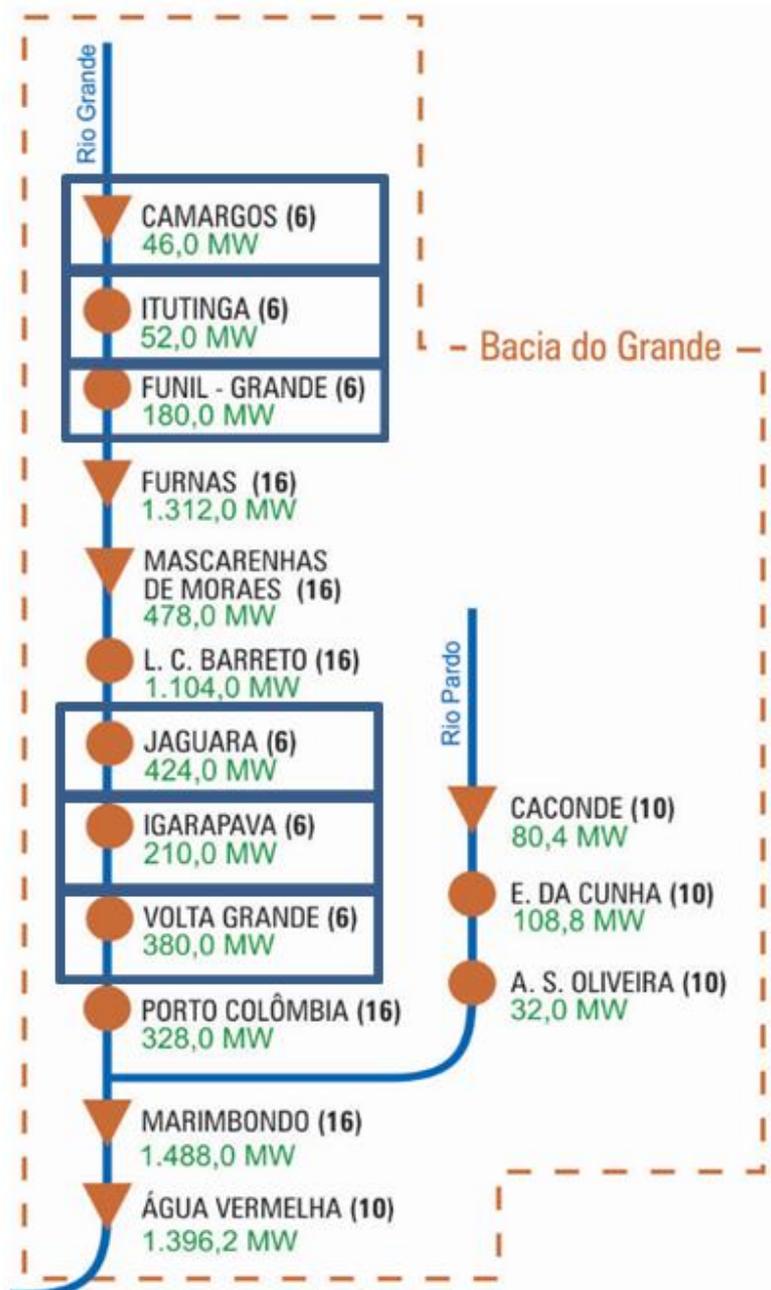


Figura 6-2 - Cascata do Rio Grande (ONS, 2013).

6.3 Regime de Operação do Reservatório (Ror)

O reservatório da UHE Itutinga possui um volume útil que totaliza 7 hm³, operando à fio d'água. Considerando a série de geração de energia desde o primeiro ano de operação e o Coeficiente de Produtibilidade médio da usina, tem-se a vazão turbina média. Seguindo a equação proposta para o índice de regularização – IR (razão entre volume útil e vazão média turbinada) e os dados da **Erro! Fonte**

de referência não encontrada., a **UHE Itutinga** está classificada como **Baixa suscetibilidade (1)**, com o valor de IR em 0,76 dias.

Quadro 6-1 - Índice de regularização UHE Itutinga

Volume útil:	7,0 hm ³
Turbinada média (série de 1990 a 2013):	106,13 m ³ /s

6.4 Magnitude e importância dos efeitos do assoreamento (MI)

Segundo a classificação do parâmetro MI, discorre-se sobre a UHE Itutinga as seguintes informações:

- Maior sensibilidade aos parâmetros anteriores: baixo potencial de produção de sedimentos, baixa suscetibilidade devido à sua posição na cascata e baixa suscetibilidade devido ao regime de operação do reservatório.
- Não constitui hidrovias.

Dessa forma, classifica-se a **UHE Itutinga** como **Baixa Externalidade (1)**.

6.5 Determinação do Nível de Criticidade (NC)

Segundo a equação proposta para a determinação do nível de criticidade, tem-se:

$$NC = \frac{Pss + Prc + MI + 4 \times Ror}{21}$$

$$NC = \frac{1 + 1 + 1 + 4 \times 1}{21} = 0,33$$

Dessa forma, classifica-se a **UHE Itutinga** como **Classe 1 - Nível de criticidade médio (0,33)**.

7. LEVANTAMENTOS REALIZADOS

No presente item são descritos os levantamentos realizados, que atendem a todos os requisitos da Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 3/2010, conforme o enquadramento do reservatório realizado no item anterior. Maiores detalhes sobre os procedimentos de execução dos serviços se encontram nos volumes Anexo 01 e Anexo 02, conforme organização dos documentos apresentados no *Item 4*.

7.1 Implantação da Rede de Vértices Geodésicos - RVG

Foi implantada uma Rede de Vértices Geodésicos - RVG para a UHE Itutinga, composta por um total de 01 vértice principal localizado no barramento. Este vértice teve suas coordenadas planas determinadas por posicionamento GNSS com receptores de dupla frequência, e sua elevação determinadas por nivelamento geométrico de alta precisão.

A RVG implantada serviu de base para o georreferenciamento das seções batimétricas e adensamento de pontos para o apoio ao levantamento batimétrico, bem como para a validação do MapGeo2015.

A Figura 7-1 ilustra todos os serviços executados para a implantação da RVG do reservatório de Itutinga e o Quadro 7-1 apresenta a coordenada do vértice da RVG implantado.

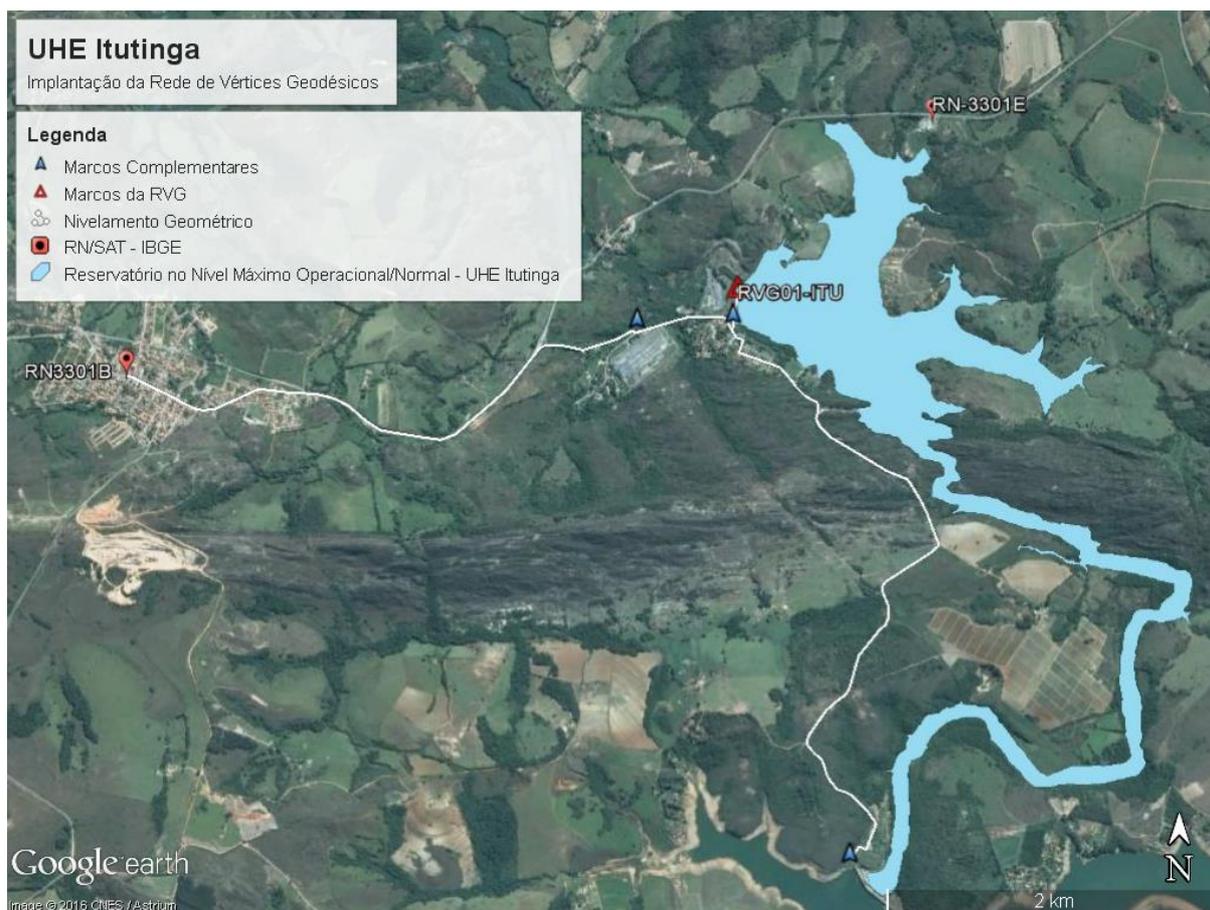


Figura 7-1 – Implantação da Rede de Vértices Geodésicos

Quadro 7-1 – Rede de Vértices Geodésicos

Nome	Norte (m)	Este (m)	Latitude	Longitude	Cota Elipsoidal (m)	Cota Ortométrica (m)
RVG01	7.645.425,809	539.036,911	21°17'33,24923"S	44°37'25,14617"W	886,380	890,265

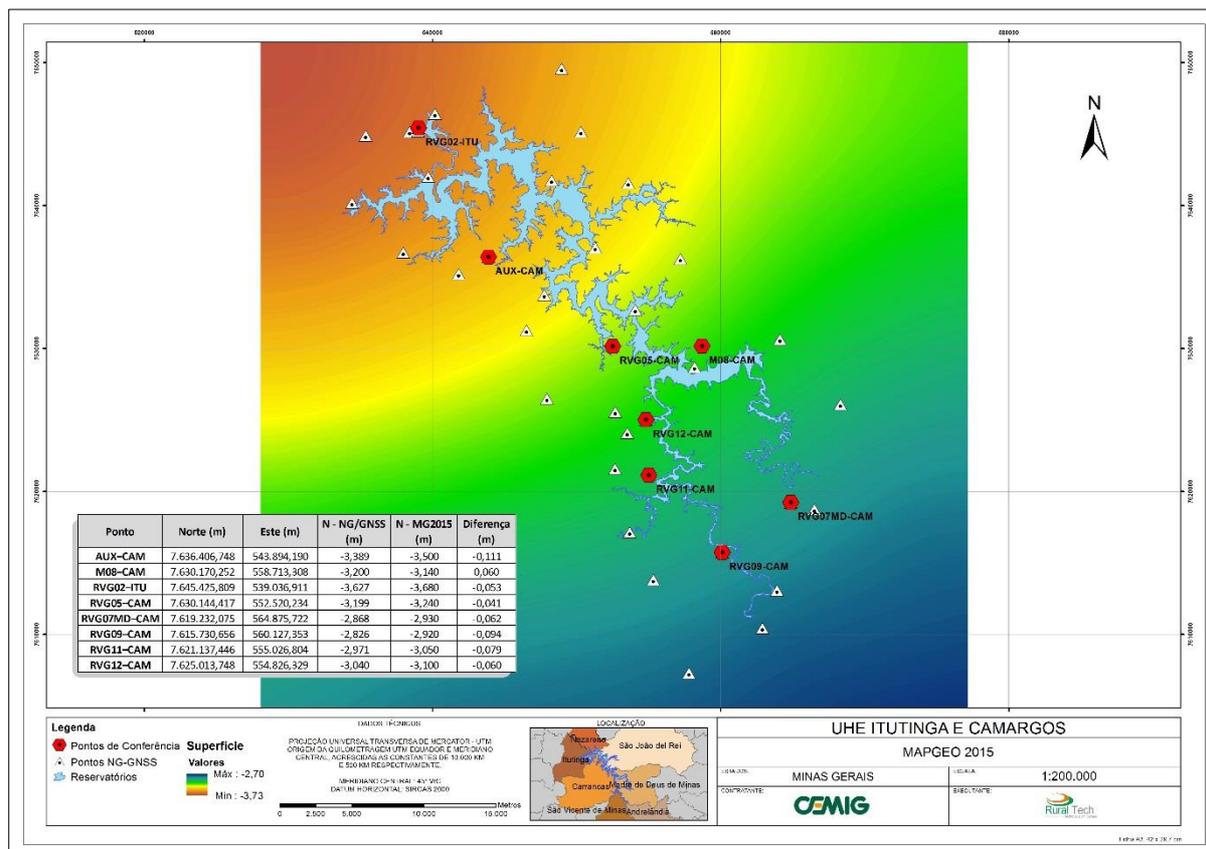
7.2 Validação MapGeo e Elaboração do Modelo Geoidal Local - MGL

O objetivo da verificação da qualidade do Modelo Gravitacional Brasileiro MapGeo e/ou elaboração de um Modelo Geoidal Local é a definição de um modelo que viabilize a determinação geoidal com qualidade superior a 20 cm na região sem o uso do nivelamento geométrico, ou seja, através do levantamento de uma linha de base por GPS poder-se-á determinar por interpolação geométrica a altitude ortométrica do ponto utilizando as coordenadas tridimensionais dos vértices e o modelo escolhido, seja o MapGeo ou um modelo elaborado exclusivamente para a região chamado de Modelo Geoidal Local - MGL.

Devido a proximidade entre os reservatórios das UHEs Itutinga e Camargos, a avaliação do MapGeo na região da região dos dois reservatórios foi realizada de maneira única. Conforme especificado para o presente trabalho foram selecionados vinte por cento (20%) dos pontos totais rastreados e nivelados durante a implantação da RVG para avaliar o MapGeo2015. Após análise foi observado que o MapGeo, tanto o 2010 quanto o 2015, apresentaram na região dos reservatórios da UHE Itutinga e da UHE Camargos, a qualidade exigida no documento orientativo da ANA, e não se fez necessária a elaboração um Modelo Geoidal Local – MGL.

A superfície que representa o MapGeo2015 na região do reservatório é apresentada na Figura 7-2 a seguir e a escolha do modelo de 2015 se deu por este ter apresentado melhores resultados quando comparados com os dados coletados em campo do que o modelo mais antigo.




Figura 7-2 – Modelo Gravitacional Brasileiro – MapGeo2015

Ponto	Norte (m)	Este (m)	N - NG/GNSS (m)	N - MGL (m)	Diferença (m)
RVG01-ITU	7.645.425,809	539.036,911	-3,627	-3,680	0,053
AUX-CAM	7.636.406,748	43.894,190	-3,389	-3,500	0,111
RVG05-CAM	7.630.144,417	552.520,234	-3,199	-3,240	0,041
M08-CAM	7630170,252	558713,308	-3,200	-3,140	0,060
RVG12-CAM	7625013,748	554826,329	-3,040	-3,100	0,060
RVG11-CAM	7621137,446	555026,804	-2,971	-3,050	0,079
RVG07MD-CAM	7619232,075	564875,722	-2,868	-2,930	0,062
RVG09-CAM	7615730,656	560127,353	-2,922	-2,820	0,102

7.3 Mapeamento da Área Molhada

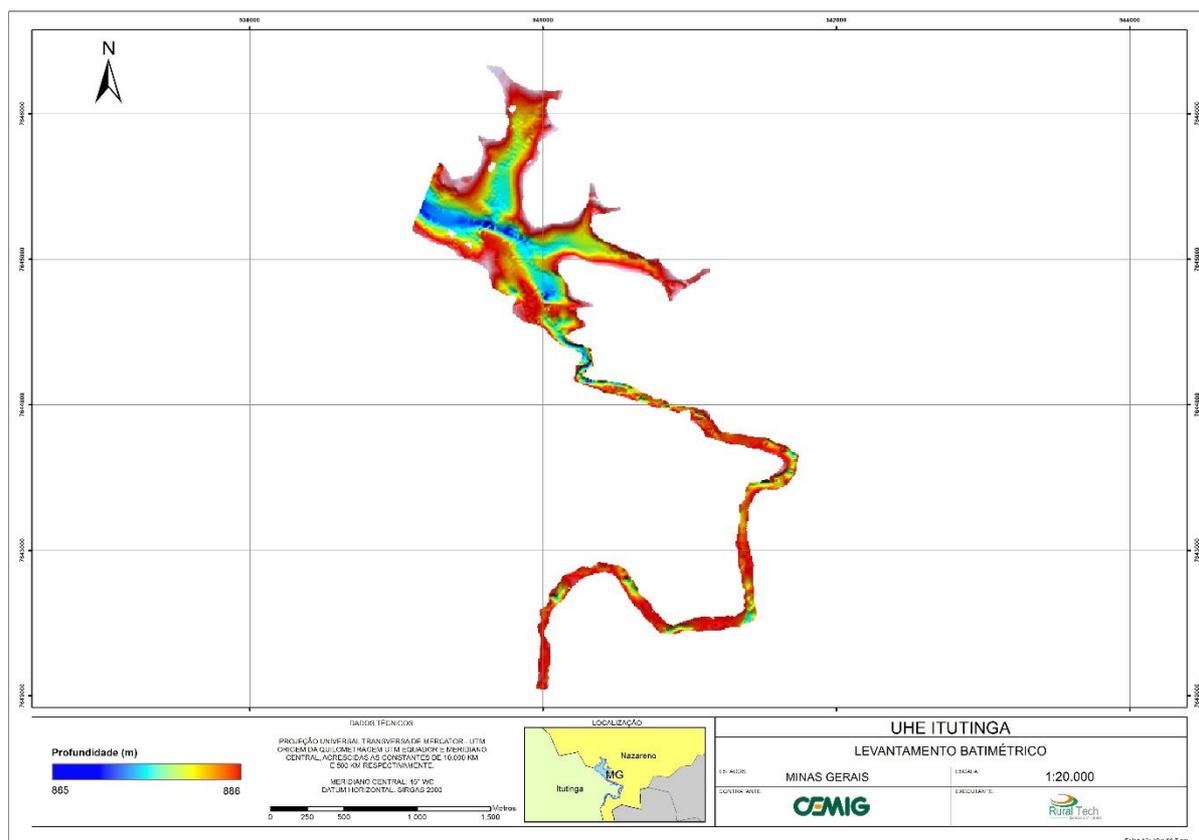
Para o mapeamento da área molhada do reservatório optou-se pela utilização da tecnologia de ensonificação do leito com sonar monofeixe, realizando o mapeamento aproximadamente 100% do reservatório. O espaçamento médio utilizado entre as linhas de sondagem foi de 60 a 70 metros nas linhas transversais e uma linha longitudinal em cada um dos contribuintes e no corpo principal. Esses levantamentos batimétricos realizados no reservatório da UHE Itutinga totalizaram 1,5 km².

A amarração altimétrica ocorreu por meio de uma integração de dados de nível de montante da UHE Itutinga e jusante da UHE Camargos. Além disso foram utilizados dados de nivelamento de NAs para o auxílio na determinação do remanso. Todos esses dados foram referenciados ao Sistema Geodésico Brasileiro através da Rede de Vértices Geodésicos implantada ao longo do reservatório e ao MAPGEO 2015. Também foi feita a correlação entre as leituras da régua de operação, obtidas da CEMIG, com o SGB, utilizando os levantamentos topográficos realizados na fase de implantação da RVG, apresentados no Anexo 01.

O levantamento batimétrico do reservatório da UHE Itutinga foi compreendido entre os dias 29 e 30 de março de 2016.. As principais adversidades foram encontradas nas áreas extremamente rasas (até 3 m), pois impuseram algumas dificuldades na navegação e na aquisição dos dados, devido a obstáculos como capim flutuante, vegetação submersa e a própria profundidade que obrigava uma navegação mais cautelosa.

O software utilizado na coleta de dados em campo foi o mesmo empregado no processamento. Para o conjunto monofeixe foi utilizado o software Hypack versão 2015.

O produto final do levantamento batimétrico é um Grid de pontos processados e reduzidos para a cota ortométrica. A Figura 7-3 ilustra o grid, que foi gerado a partir dos pontos levantados. A apresentação completa dos serviços batimétricos está apresentada no volume denominado “Anexo 02”.



7.4 Mapeamento da Área Seca

Por se tratar de um reservatório que opera a fio d’água, ou seja, a nível constante na elevação equivalente ao nível máximo normal, o reservatório de Jaguara não apresenta área seca a ser mapeada, mas apenas o contorno do reservatório, que representa o limite superior das curvas Cota x Área x Volume.

Para determinação desse contorno foi fornecido pela CEMIG, o limite externo do reservatório, em formato *ShapeFile* na cota máxima normal.

Dados fornecidos pela CEMIG:

- ShapeFile do limite da linha d’água na cota máximo normal com a informação de cota e Datum SIRGAS2000;

Para o ajuste do contorno do reservatório, e sua área nas curvas Cota x Área x Volume, foram considerados os níveis d’água registrados no reservatório de Itutinga nas datas dos levantamentos batimétricos. Esses níveis são apresentados no Quadro 7-2 a seguir.

Quadro 7-2 – Variação de NA durante o levantamento batimétrico

Data - Hora	Cota do NA – SGB (m)	Cota Max Normal – SGB (m)	Diferença (m)
29/03/2016–09:00	885,79	886,25	0,46
29/03/2016–17:00	885,77	886,25	0,48
29/03/2016-09:00	885,79	886,25	0,46
29/03/2016-17:00	885,83	886,25	0,42

Verifica-se que a diferença entre os níveis d'água nos dias dos levantamentos batimétricos e o nível normal do reservatório foi de aproximadamente 45cm, valor inferior à precisão de levantamentos com curvas de nível com 1 m de equidistância. Assim, adotou-se que o limite do reservatório fornecido pela CEMIG, referente à cota máxima normal de operação, corresponde ao mesmo nível d'água do momento do levantamento batimétrico.

7.5 Implantação das Seções de Controle

Sendo o reservatório da UHE Itutinga classificado com um **Nível de criticidade baixo**, foi instalado um **conjunto com três seções de controle topobatimétrico**, posicionando-as no seu quartil superior (trecho de montante), incluindo a zona de remanso. O espaçamento entre as seções foi da ordem de cinco vezes a largura do Rio Grande.

Essas seções foram materializadas, nas duas margens, por marcos de concreto que estão georreferenciados e documentados, por meio de relação de coordenadas obtidas a partir do processamento dos pontos, de acordo com a seguinte metodologia:

- Todos os marcos implantados foram amarrados aos vértices da RVG;
- O posicionamento dos marcos foi definindo buscando locais de baixa obstrução do sinal, minimizando os efeitos de multicaminhamento nos dados GNSS e de forma a garantir que todo o levantamento da seção de monitoramento seja efetuado sempre da mesma referência;

- A implantação dos marcos seguiu as especificações das contidas nas “Orientações para atualização da curva CAV” da ANA, assim como as suas monografias;
- No que concerne a planimetria, os rastreamentos foram executados, com receptores GNSS de dupla frequência em todos os marcos que constituem referências nas seções de monitoramento, sendo que tais rastreios foram de pelo menos duas horas. Além disso, os levantamentos GNSS foram executados com observação mínima e simultânea de 6 satélites naqueles períodos de rastreio, PDOP inferior a 4, posicionamento relativo estático, e precisão nominal superior ou igual a 5mm+1ppm;

8. PRODUTOS E RESULTADOS

8.1 Modelo Digital do Terreno - MDT

O produto dos levantamentos da área seca, fornecido pela CEMIG, é um shape do nível d'água na cota máximo normal de operação e o produto da área molhada é um grid de pontos XYZ das linhas percorridas durante o mapeamento, esse produto pode ser representado por uma tabela ou por um arquivo de texto com as informações XYZ de cada ponto.

A interpolação dos dados oriundos da batimetria com o limite do reservatório na cota máximo normal, fornecido pela CEMIG em formato *ShapeFile*, foi realizada no software ArcGIS Pro, por meio da ferramenta *Topo to Raster*, que é um método desenvolvido para a criação de Modelos Digitais de Elevação (MDE), especialmente os hidrológicos.

A água é a principal força erosiva e determina a forma geral na maioria das paisagens. Por essa razão as paisagens possuem vários topos de morros (locais de máximo), e uma quantidade menor de depressões (locais de mínimo), fato que resulta em um padrão de drenagem conectado. A ferramenta *Topo to Raster* usa esse conhecimento sobre superfícies e impõe restrições para o processo de interpolação que resulta em uma estrutura de drenagem conectada e em uma correta representação do escoamento superficial. Esse método utiliza uma técnica de interpolação de diferença finita, aperfeiçoada para ter eficácia de um método de

interpolação global, como o inverso do quadrado da distância (IQD ou IDW), sem perder a continuidade da superfície dos métodos de interpolação globais, como Spline e Krigagem.

Para a elaboração do MDT final foram utilizados 2 insumos, os dados da batimetria e o contorno do reservatório como limite do reservatório e do MDT a ser elaborado.

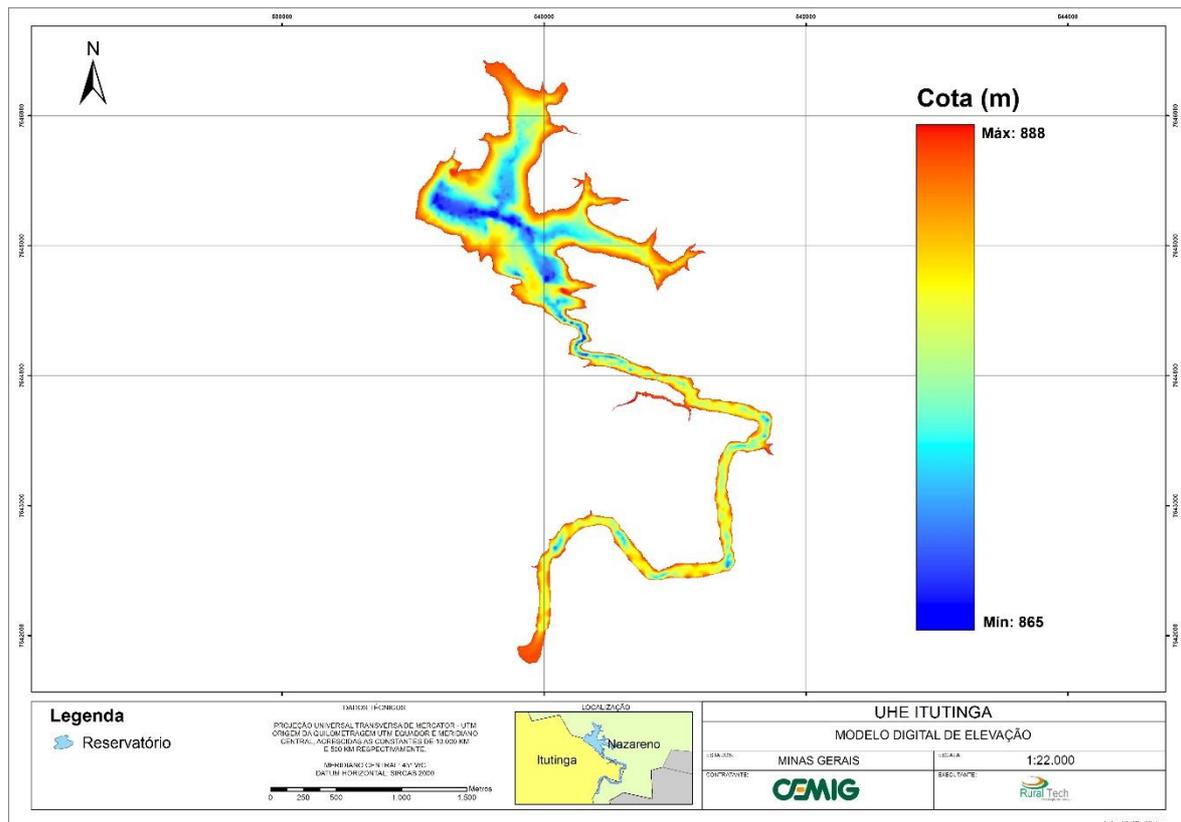


Figura 8-1 – Modelo Digital do Terreno

8.2 Curvas Cota x Área x Volume

8.2.1 Metodologia

Com o MDT gerado é possível calcular o volume, no software ArcGis, através da ferramenta *Surface Volume*.

Essa ferramenta calcula a área projetada, a área da superfície e o volume de uma superfície relativo a uma altitude base ou a um plano de referência. A superfície pode ser um *raster*, TIN, ou outra informação de elevação. Os resultados são gerados em forma de texto.

É necessário determinar se os cálculos serão realizados acima ou abaixo do plano de referência. Quando se define que os cálculos serão realizados abaixo do plano de referência, a área projetada e a área da superfície são calculadas no intervalo entre a superfície do MDE e a altitude desejada, como pode ser observado na Figura 8-3.

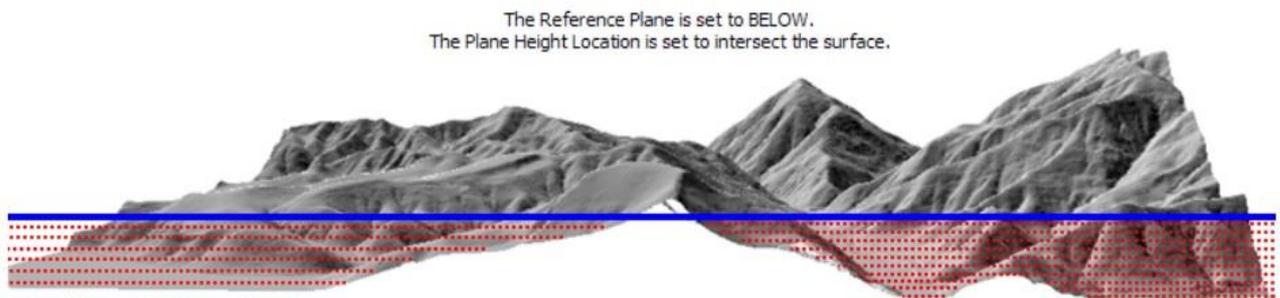


Figura 8-2 - Exemplo de área e volume calculados abaixo do plano de referência

Portanto, como pode-se visualizar na Figura 8-4, para o cálculo do volume do reservatório foi usado o MDE gerado pela ferramenta *Topo to Raster* a partir da cota de interesse e com plano de referência definido como “abaixo”.

Para que o volume e a área de diferentes cotas sejam calculados em um único processamento foi usado o *Model Builder*, uma ferramenta que permite criar um fluxograma de atividades a serem realizadas com parâmetros pré-determinados. A Figura 8-3 exemplifica o fluxograma criado através do *Model Builder* com a possibilidade do cálculo de área e volume para diferentes cotas em um único processamento.

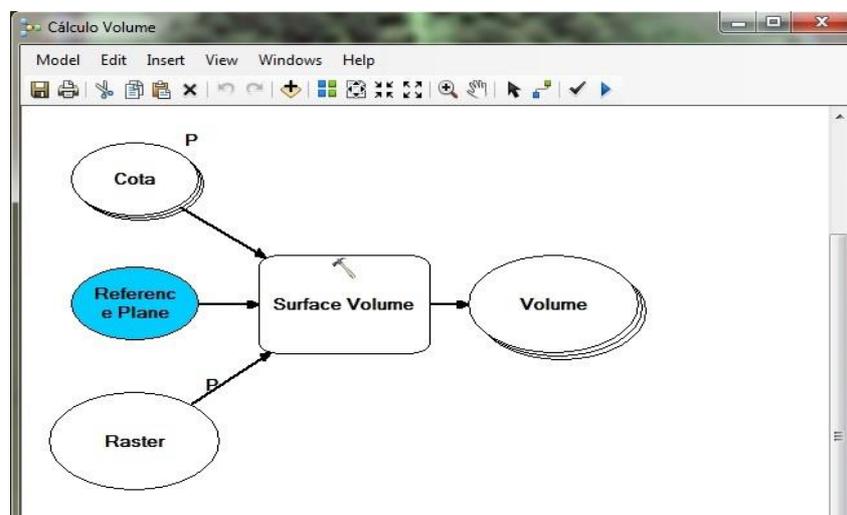


Figura 8-3 - Representação esquemática da ferramenta *Surface Volume* no *Model Builder*

Dessa forma foram obtidos aos dados necessários para a elaboração das curvas Cota x Área x Volume do reservatório de Itutinga.

8.2.2 Correlação das Cotas – Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) x Cota de Operação (Régua da UHE Itutinga)

Deve-se destacar que há uma diferença de 22 cm entre as elevações no Sistema Geodésico Brasileiro, obtidas no levantamento atual, e o nível local atualmente utilizado como referência na operação da UHE Itutinga.

Dessa forma, os documentos baseados na referência de nível local apresentam o nível máximo normal do reservatório na elevação 886,00m, enquanto na referência do Sistema Geodésico Brasileiro, referência do atual trabalho esse nível corresponde à elevação 886,22m.

8.2.3 Curvas Cota x Área x Volume

As curvas cota x área x volume, elaboradas a partir desses novos levantamentos, foram referenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro. Os valores das curvas são apresentados no Quadro 8-1 e representados graficamente na Figura 8-4.



Quadro 8-1 – Curvas Cota x Área x Volume

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km ²)	Volume (hm ³)
887,00	887,22	1,94	13,24
886,99	887,21	1,94	13,22
886,98	887,20	1,94	13,20
886,97	887,19	1,93	13,18
886,96	887,18	1,93	13,16
886,95	887,17	1,93	13,14
886,94	887,16	1,93	13,12
886,93	887,15	1,93	13,10
886,92	887,14	1,93	13,08
886,91	887,13	1,92	13,06
886,90	887,12	1,92	13,04
886,89	887,11	1,92	13,03
886,88	887,10	1,92	13,01
886,87	887,09	1,92	12,99
886,86	887,08	1,92	12,97
886,85	887,07	1,92	12,95
886,84	887,06	1,91	12,93
886,83	887,05	1,91	12,91
886,82	887,04	1,91	12,89
886,81	887,03	1,91	12,87
886,80	887,02	1,91	12,85
886,79	887,01	1,91	12,83
886,78	887,00	1,90	12,81
886,77	886,99	1,90	12,80
886,76	886,98	1,90	12,78
886,75	886,97	1,90	12,76
886,74	886,96	1,90	12,74
886,73	886,95	1,90	12,72
886,72	886,94	1,90	12,70
886,71	886,93	1,89	12,68
886,70	886,92	1,89	12,66
886,69	886,91	1,89	12,64
886,68	886,90	1,89	12,62
886,67	886,89	1,89	12,61
886,66	886,88	1,89	12,59
886,65	886,87	1,89	12,57
886,64	886,86	1,89	12,55
886,63	886,85	1,88	12,53
886,62	886,84	1,88	12,51
886,61	886,83	1,88	12,49
886,60	886,82	1,88	12,47
886,59	886,81	1,88	12,46
886,58	886,80	1,88	12,44

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km2)	Volume (hm3)
886,57	886,79	1,88	12,42
886,56	886,78	1,87	12,40
886,55	886,77	1,87	12,38
886,54	886,76	1,87	12,36
886,53	886,75	1,87	12,34
886,52	886,74	1,87	12,32
886,51	886,73	1,87	12,31
886,50	886,72	1,87	12,29
886,49	886,71	1,87	12,27
886,48	886,70	1,86	12,25
886,47	886,69	1,86	12,23
886,46	886,68	1,86	12,21
886,45	886,67	1,86	12,19
886,44	886,66	1,86	12,18
886,43	886,65	1,86	12,16
886,42	886,64	1,86	12,14
886,41	886,63	1,85	12,12
886,40	886,62	1,85	12,10
886,39	886,61	1,85	12,08
886,38	886,60	1,85	12,06
886,37	886,59	1,85	12,05
886,36	886,58	1,85	12,03
886,35	886,57	1,85	12,01
886,34	886,56	1,85	11,99
886,33	886,55	1,84	11,97
886,32	886,54	1,84	11,95
886,31	886,53	1,84	11,94
886,30	886,52	1,84	11,92
886,29	886,51	1,84	11,90
886,28	886,50	1,84	11,88
886,27	886,49	1,84	11,86
886,26	886,48	1,84	11,84
886,25	886,47	1,83	11,82
886,24	886,46	1,83	11,81
886,23	886,45	1,83	11,79
886,22	886,44	1,83	11,77
886,21	886,43	1,83	11,75
886,20	886,42	1,83	11,73
886,19	886,41	1,83	11,72
886,18	886,40	1,83	11,70
886,17	886,39	1,82	11,68
886,16	886,38	1,82	11,66
886,15	886,37	1,82	11,64
886,14	886,36	1,82	11,62

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km2)	Volume (hm3)
886,13	886,35	1,82	11,61
886,12	886,34	1,82	11,59
886,11	886,33	1,82	11,57
886,10	886,32	1,81	11,55
886,09	886,31	1,81	11,53
886,08	886,30	1,81	11,51
886,07	886,29	1,81	11,50
886,06	886,28	1,81	11,48
886,05	886,27	1,81	11,46
886,04	886,26	1,81	11,44
886,03	886,25	1,80	11,42
886,02	886,24	1,80	11,41
886,01	886,23	1,80	11,39
886,00	886,22	1,80	11,37
885,99	886,21	1,80	11,35
885,98	886,20	1,80	11,33
885,97	886,19	1,80	11,32
885,96	886,18	1,79	11,30
885,95	886,17	1,79	11,28
885,94	886,16	1,79	11,26
885,93	886,15	1,79	11,24
885,92	886,14	1,79	11,23
885,91	886,13	1,79	11,21
885,90	886,12	1,79	11,19
885,89	886,11	1,78	11,17
885,88	886,10	1,78	11,15
885,87	886,09	1,78	11,14
885,86	886,08	1,78	11,12
885,85	886,07	1,78	11,10
885,84	886,06	1,78	11,08
885,83	886,05	1,78	11,07
885,82	886,04	1,77	11,05
885,81	886,03	1,77	11,03
885,80	886,02	1,77	11,01
885,79	886,01	1,77	11,00
885,78	886,00	1,77	10,98
885,77	885,99	1,77	10,96
885,76	885,98	1,77	10,94
885,75	885,97	1,77	10,92
885,74	885,96	1,76	10,91
885,73	885,95	1,76	10,89
885,72	885,94	1,76	10,87
885,71	885,93	1,76	10,85
885,70	885,92	1,76	10,84

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km2)	Volume (hm3)
885,69	885,91	1,76	10,82
885,68	885,90	1,76	10,80
885,67	885,89	1,75	10,78
885,66	885,88	1,75	10,77
885,65	885,87	1,75	10,75
885,64	885,86	1,75	10,73
885,63	885,85	1,75	10,71
885,62	885,84	1,75	10,70
885,61	885,83	1,75	10,68
885,60	885,82	1,75	10,66
885,59	885,81	1,74	10,64
885,58	885,80	1,74	10,63
885,57	885,79	1,74	10,61
885,56	885,78	1,74	10,59
885,55	885,77	1,74	10,57
885,54	885,76	1,74	10,56
885,53	885,75	1,74	10,54
885,52	885,74	1,73	10,52
885,51	885,73	1,73	10,50
885,50	885,72	1,73	10,49
885,49	885,71	1,73	10,47
885,48	885,70	1,73	10,45
885,47	885,69	1,73	10,44
885,46	885,68	1,72	10,42
885,45	885,67	1,72	10,40
885,44	885,66	1,72	10,38
885,43	885,65	1,72	10,37
885,42	885,64	1,72	10,35
885,41	885,63	1,72	10,33
885,40	885,62	1,72	10,31
885,39	885,61	1,71	10,30
885,38	885,60	1,71	10,28
885,37	885,59	1,71	10,26
885,36	885,58	1,71	10,25
885,35	885,57	1,71	10,23
885,34	885,56	1,71	10,21
885,33	885,55	1,71	10,20
885,32	885,54	1,70	10,18
885,31	885,53	1,70	10,16
885,30	885,52	1,70	10,14
885,29	885,51	1,70	10,13
885,28	885,50	1,70	10,11
885,27	885,49	1,70	10,09
885,26	885,48	1,69	10,08

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km2)	Volume (hm3)
885,25	885,47	1,69	10,06
885,24	885,46	1,69	10,04
885,23	885,45	1,69	10,03
885,22	885,44	1,69	10,01
885,21	885,43	1,69	9,99
885,20	885,42	1,69	9,97
885,19	885,41	1,68	9,96
885,18	885,40	1,68	9,94
885,17	885,39	1,68	9,92
885,16	885,38	1,68	9,91
885,15	885,37	1,68	9,89
885,14	885,36	1,68	9,87
885,13	885,35	1,68	9,86
885,12	885,34	1,67	9,84
885,11	885,33	1,67	9,82
885,10	885,32	1,67	9,81
885,09	885,31	1,67	9,79
885,08	885,30	1,67	9,77
885,07	885,29	1,67	9,76
885,06	885,28	1,66	9,74
885,05	885,27	1,66	9,72
885,04	885,26	1,66	9,71
885,03	885,25	1,66	9,69
885,02	885,24	1,66	9,67
885,01	885,23	1,66	9,66
885,00	885,22	1,66	9,64
884,99	885,21	1,65	9,62
884,98	885,20	1,65	9,61
884,97	885,19	1,65	9,59
884,96	885,18	1,65	9,57
884,95	885,17	1,65	9,56
884,94	885,16	1,65	9,54
884,93	885,15	1,65	9,53
884,92	885,14	1,64	9,51
884,91	885,13	1,64	9,49
884,90	885,12	1,64	9,48
884,89	885,11	1,64	9,46
884,88	885,10	1,64	9,44
884,87	885,09	1,64	9,43
884,86	885,08	1,64	9,41
884,85	885,07	1,63	9,39
884,84	885,06	1,63	9,38
884,83	885,05	1,63	9,36
884,82	885,04	1,63	9,35

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km2)	Volume (hm3)
884,81	885,03	1,63	9,33
884,80	885,02	1,63	9,31
884,79	885,01	1,62	9,30
884,78	885,00	1,62	9,28
884,77	884,99	1,62	9,26
884,76	884,98	1,62	9,25
884,75	884,97	1,62	9,23
884,74	884,96	1,62	9,22
884,73	884,95	1,62	9,20
884,72	884,94	1,61	9,18
884,71	884,93	1,61	9,17
884,70	884,92	1,61	9,15
884,69	884,91	1,61	9,13
884,68	884,90	1,61	9,12
884,67	884,89	1,61	9,10
884,66	884,88	1,61	9,09
884,65	884,87	1,60	9,07
884,64	884,86	1,60	9,05
884,63	884,85	1,60	9,04
884,62	884,84	1,60	9,02
884,61	884,83	1,60	9,01
884,60	884,82	1,60	8,99
884,59	884,81	1,60	8,97
884,58	884,80	1,59	8,96
884,57	884,79	1,59	8,94
884,56	884,78	1,59	8,93
884,55	884,77	1,59	8,91
884,54	884,76	1,59	8,89
884,53	884,75	1,59	8,88
884,52	884,74	1,59	8,86
884,51	884,73	1,58	8,85
884,50	884,72	1,58	8,83
884,49	884,71	1,58	8,82
884,48	884,70	1,58	8,80
884,47	884,69	1,58	8,78
884,46	884,68	1,58	8,77
884,45	884,67	1,58	8,75
884,44	884,66	1,57	8,74
884,43	884,65	1,57	8,72
884,42	884,64	1,57	8,71
884,41	884,63	1,57	8,69
884,40	884,62	1,57	8,67
884,39	884,61	1,57	8,66
884,38	884,60	1,57	8,64

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km2)	Volume (hm3)
884,37	884,59	1,56	8,63
884,36	884,58	1,56	8,61
884,35	884,57	1,56	8,60
884,34	884,56	1,56	8,58
884,33	884,55	1,56	8,56
884,32	884,54	1,56	8,55
884,31	884,53	1,56	8,53
884,30	884,52	1,55	8,52
884,29	884,51	1,55	8,50
884,28	884,50	1,55	8,49
884,27	884,49	1,55	8,47
884,26	884,48	1,55	8,46
884,25	884,47	1,55	8,44
884,24	884,46	1,54	8,42
884,23	884,45	1,54	8,41
884,22	884,44	1,54	8,39
884,21	884,43	1,54	8,38
884,20	884,42	1,54	8,36
884,19	884,41	1,54	8,35
884,18	884,40	1,54	8,33
884,17	884,39	1,53	8,32
884,16	884,38	1,53	8,30
884,15	884,37	1,53	8,29
884,14	884,36	1,53	8,27
884,13	884,35	1,53	8,26
884,12	884,34	1,53	8,24
884,11	884,33	1,53	8,23
884,10	884,32	1,52	8,21
884,09	884,31	1,52	8,19
884,08	884,30	1,52	8,18
884,07	884,29	1,52	8,16
884,06	884,28	1,52	8,15
884,05	884,27	1,52	8,13
884,04	884,26	1,52	8,12
884,03	884,25	1,51	8,10
884,02	884,24	1,51	8,09
884,01	884,23	1,51	8,07
884,00	884,22	1,51	8,06
883,99	884,21	1,51	8,04
883,98	884,20	1,51	8,03
883,97	884,19	1,51	8,01
883,96	884,18	1,51	8,00
883,95	884,17	1,50	7,98
883,94	884,16	1,50	7,97

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km2)	Volume (hm3)
883,93	884,15	1,50	7,95
883,92	884,14	1,50	7,94
883,91	884,13	1,50	7,92
883,90	884,12	1,50	7,91
883,89	884,11	1,50	7,89
883,88	884,10	1,49	7,88
883,87	884,09	1,49	7,86
883,86	884,08	1,49	7,85
883,85	884,07	1,49	7,83
883,84	884,06	1,49	7,82
883,83	884,05	1,49	7,80
883,82	884,04	1,49	7,79
883,81	884,03	1,49	7,77
883,80	884,02	1,48	7,76
883,79	884,01	1,48	7,74
883,78	884,00	1,48	7,73
883,77	883,99	1,48	7,71
883,76	883,98	1,48	7,70
883,75	883,97	1,48	7,68
883,74	883,96	1,48	7,67
883,73	883,95	1,47	7,66
883,72	883,94	1,47	7,64
883,71	883,93	1,47	7,63
883,70	883,92	1,47	7,61
883,69	883,91	1,47	7,60
883,68	883,90	1,47	7,58
883,67	883,89	1,47	7,57
883,66	883,88	1,47	7,55
883,65	883,87	1,46	7,54
883,64	883,86	1,46	7,52
883,63	883,85	1,46	7,51
883,62	883,84	1,46	7,49
883,61	883,83	1,46	7,48
883,60	883,82	1,46	7,46
883,59	883,81	1,46	7,45
883,58	883,80	1,46	7,44
883,57	883,79	1,45	7,42
883,56	883,78	1,45	7,41
883,55	883,77	1,45	7,39
883,54	883,76	1,45	7,38
883,53	883,75	1,45	7,36
883,52	883,74	1,45	7,35
883,51	883,73	1,45	7,33
883,50	883,72	1,45	7,32

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km2)	Volume (hm3)
883,49	883,71	1,44	7,30
883,48	883,70	1,44	7,29
883,47	883,69	1,44	7,28
883,46	883,68	1,44	7,26
883,45	883,67	1,44	7,25
883,44	883,66	1,44	7,23
883,43	883,65	1,44	7,22
883,42	883,64	1,43	7,20
883,41	883,63	1,43	7,19
883,40	883,62	1,43	7,18
883,39	883,61	1,43	7,16
883,38	883,60	1,43	7,15
883,37	883,59	1,43	7,13
883,36	883,58	1,43	7,12
883,35	883,57	1,43	7,10
883,34	883,56	1,42	7,09
883,33	883,55	1,42	7,08
883,32	883,54	1,42	7,06
883,31	883,53	1,42	7,05
883,30	883,52	1,42	7,03
883,29	883,51	1,42	7,02
883,28	883,50	1,42	7,00
883,27	883,49	1,42	6,99
883,26	883,48	1,41	6,98
883,25	883,47	1,41	6,96
883,24	883,46	1,41	6,95
883,23	883,45	1,41	6,93
883,22	883,44	1,41	6,92
883,21	883,43	1,41	6,91
883,20	883,42	1,41	6,89
883,19	883,41	1,41	6,88
883,18	883,40	1,40	6,86
883,17	883,39	1,40	6,85
883,16	883,38	1,40	6,84
883,15	883,37	1,40	6,82
883,14	883,36	1,40	6,81
883,13	883,35	1,40	6,79
883,12	883,34	1,40	6,78
883,11	883,33	1,40	6,77
883,10	883,32	1,39	6,75
883,09	883,31	1,39	6,74
883,08	883,30	1,39	6,72
883,07	883,29	1,39	6,71
883,06	883,28	1,39	6,70

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km2)	Volume (hm3)
883,05	883,27	1,39	6,68
883,04	883,26	1,39	6,67
883,03	883,25	1,39	6,65
883,02	883,24	1,38	6,64
883,01	883,23	1,38	6,63
883,00	883,22	1,38	6,61
882,99	883,21	1,38	6,60
882,98	883,20	1,38	6,59
882,97	883,19	1,38	6,57
882,96	883,18	1,38	6,56
882,95	883,17	1,38	6,54
882,94	883,16	1,37	6,53
882,93	883,15	1,37	6,52
882,92	883,14	1,37	6,50
882,91	883,13	1,37	6,49
882,90	883,12	1,37	6,48
882,89	883,11	1,37	6,46
882,88	883,10	1,37	6,45
882,87	883,09	1,36	6,43
882,86	883,08	1,36	6,42
882,85	883,07	1,36	6,41
882,84	883,06	1,36	6,39
882,83	883,05	1,36	6,38
882,82	883,04	1,36	6,37
882,81	883,03	1,36	6,35
882,80	883,02	1,36	6,34
882,79	883,01	1,35	6,33
882,78	883,00	1,35	6,31
882,77	882,99	1,35	6,30
882,76	882,98	1,35	6,29
882,75	882,97	1,35	6,27
882,74	882,96	1,35	6,26
882,73	882,95	1,35	6,24
882,72	882,94	1,35	6,23
882,71	882,93	1,34	6,22
882,70	882,92	1,34	6,20
882,69	882,91	1,34	6,19
882,68	882,90	1,34	6,18
882,67	882,89	1,34	6,16
882,66	882,88	1,34	6,15
882,65	882,87	1,34	6,14
882,64	882,86	1,33	6,12
882,63	882,85	1,33	6,11
882,62	882,84	1,33	6,10

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km2)	Volume (hm3)
882,61	882,83	1,33	6,08
882,60	882,82	1,33	6,07
882,59	882,81	1,33	6,06
882,58	882,80	1,33	6,04
882,57	882,79	1,33	6,03
882,56	882,78	1,32	6,02
882,55	882,77	1,32	6,00
882,54	882,76	1,32	5,99
882,53	882,75	1,32	5,98
882,52	882,74	1,32	5,96
882,51	882,73	1,32	5,95
882,50	882,72	1,32	5,94
882,49	882,71	1,31	5,93
882,48	882,70	1,31	5,91
882,47	882,69	1,31	5,90
882,46	882,68	1,31	5,89
882,45	882,67	1,31	5,87
882,44	882,66	1,31	5,86
882,43	882,65	1,31	5,85
882,42	882,64	1,31	5,83
882,41	882,63	1,30	5,82
882,40	882,62	1,30	5,81
882,39	882,61	1,30	5,79
882,38	882,60	1,30	5,78
882,37	882,59	1,30	5,77
882,36	882,58	1,30	5,76
882,35	882,57	1,30	5,74
882,34	882,56	1,29	5,73
882,33	882,55	1,29	5,72
882,32	882,54	1,29	5,70
882,31	882,53	1,29	5,69
882,30	882,52	1,29	5,68
882,29	882,51	1,29	5,67
882,28	882,50	1,29	5,65
882,27	882,49	1,29	5,64
882,26	882,48	1,28	5,63
882,25	882,47	1,28	5,61
882,24	882,46	1,28	5,60
882,23	882,45	1,28	5,59
882,22	882,44	1,28	5,58
882,21	882,43	1,28	5,56
882,20	882,42	1,28	5,55
882,19	882,41	1,27	5,54
882,18	882,40	1,27	5,52

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km2)	Volume (hm3)
882,17	882,39	1,27	5,51
882,16	882,38	1,27	5,50
882,15	882,37	1,27	5,49
882,14	882,36	1,27	5,47
882,13	882,35	1,27	5,46
882,12	882,34	1,26	5,45
882,11	882,33	1,26	5,44
882,10	882,32	1,26	5,42
882,09	882,31	1,26	5,41
882,08	882,30	1,26	5,40
882,07	882,29	1,26	5,39
882,06	882,28	1,26	5,37
882,05	882,27	1,25	5,36
882,04	882,26	1,25	5,35
882,03	882,25	1,25	5,34
882,02	882,24	1,25	5,32
882,01	882,23	1,25	5,31
882,00	882,22	1,25	5,30
881,99	882,21	1,25	5,29
881,98	882,20	1,24	5,27
881,97	882,19	1,24	5,26
881,96	882,18	1,24	5,25
881,95	882,17	1,24	5,24
881,94	882,16	1,24	5,22
881,93	882,15	1,24	5,21
881,92	882,14	1,24	5,20
881,91	882,13	1,23	5,19
881,90	882,12	1,23	5,17
881,89	882,11	1,23	5,16
881,88	882,10	1,23	5,15
881,87	882,09	1,23	5,14
881,86	882,08	1,23	5,12
881,85	882,07	1,23	5,11
881,84	882,06	1,22	5,10
881,83	882,05	1,22	5,09
881,82	882,04	1,22	5,08
881,81	882,03	1,22	5,06
881,80	882,02	1,22	5,05
881,79	882,01	1,22	5,04
881,78	882,00	1,22	5,03
881,77	881,99	1,21	5,01
881,76	881,98	1,21	5,00
881,75	881,97	1,21	4,99
881,74	881,96	1,21	4,98

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km2)	Volume (hm3)
881,73	881,95	1,21	4,97
881,72	881,94	1,21	4,95
881,71	881,93	1,20	4,94
881,70	881,92	1,20	4,93
881,69	881,91	1,20	4,92
881,68	881,90	1,20	4,91
881,67	881,89	1,20	4,89
881,66	881,88	1,20	4,88
881,65	881,87	1,19	4,87
881,64	881,86	1,19	4,86
881,63	881,85	1,19	4,85
881,62	881,84	1,19	4,83
881,61	881,83	1,19	4,82
881,60	881,82	1,19	4,81
881,59	881,81	1,18	4,80
881,58	881,80	1,18	4,79
881,57	881,79	1,18	4,78
881,56	881,78	1,18	4,76
881,55	881,77	1,18	4,75
881,54	881,76	1,18	4,74
881,53	881,75	1,17	4,73
881,52	881,74	1,17	4,72
881,51	881,73	1,17	4,70
881,50	881,72	1,17	4,69
881,49	881,71	1,17	4,68
881,48	881,70	1,16	4,67
881,47	881,69	1,16	4,66
881,46	881,68	1,16	4,65
881,45	881,67	1,16	4,64
881,44	881,66	1,16	4,62
881,43	881,65	1,16	4,61
881,42	881,64	1,15	4,60
881,41	881,63	1,15	4,59
881,40	881,62	1,15	4,58
881,39	881,61	1,15	4,57
881,38	881,60	1,15	4,55
881,37	881,59	1,15	4,54
881,36	881,58	1,14	4,53
881,35	881,57	1,14	4,52
881,34	881,56	1,14	4,51
881,33	881,55	1,14	4,50
881,32	881,54	1,14	4,49
881,31	881,53	1,14	4,47
881,30	881,52	1,13	4,46

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km2)	Volume (hm3)
881,29	881,51	1,13	4,45
881,28	881,50	1,13	4,44
881,27	881,49	1,13	4,43
881,26	881,48	1,13	4,42
881,25	881,47	1,13	4,41
881,24	881,46	1,12	4,40
881,23	881,45	1,12	4,38
881,22	881,44	1,12	4,37
881,21	881,43	1,12	4,36
881,20	881,42	1,12	4,35
881,19	881,41	1,12	4,34
881,18	881,40	1,11	4,33
881,17	881,39	1,11	4,32
881,16	881,38	1,11	4,31
881,15	881,37	1,11	4,30
881,14	881,36	1,11	4,28
881,13	881,35	1,10	4,27
881,12	881,34	1,10	4,26
881,11	881,33	1,10	4,25
881,10	881,32	1,10	4,24
881,09	881,31	1,10	4,23
881,08	881,30	1,10	4,22
881,07	881,29	1,09	4,21
881,06	881,28	1,09	4,20
881,05	881,27	1,09	4,19
881,04	881,26	1,09	4,17
881,03	881,25	1,09	4,16
881,02	881,24	1,09	4,15
881,01	881,23	1,08	4,14
881,00	881,22	1,08	4,13
880,99	881,21	1,08	4,12
880,98	881,20	1,08	4,11
880,97	881,19	1,08	4,10
880,96	881,18	1,07	4,09
880,95	881,17	1,07	4,08
880,94	881,16	1,07	4,07
880,93	881,15	1,07	4,06
880,92	881,14	1,07	4,04
880,91	881,13	1,07	4,03
880,90	881,12	1,06	4,02
880,89	881,11	1,06	4,01
880,88	881,10	1,06	4,00
880,87	881,09	1,06	3,99
880,86	881,08	1,06	3,98

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km2)	Volume (hm3)
880,85	881,07	1,05	3,97
880,84	881,06	1,05	3,96
880,83	881,05	1,05	3,95
880,82	881,04	1,05	3,94
880,81	881,03	1,05	3,93
880,80	881,02	1,04	3,92
880,79	881,01	1,04	3,91
880,78	881,00	1,04	3,90
880,77	880,99	1,04	3,89
880,76	880,98	1,04	3,88
880,75	880,97	1,03	3,87
880,74	880,96	1,03	3,86
880,73	880,95	1,03	3,85
880,72	880,94	1,03	3,84
880,71	880,93	1,03	3,83
880,70	880,92	1,02	3,81
880,69	880,91	1,02	3,80
880,68	880,90	1,02	3,79
880,67	880,89	1,02	3,78
880,66	880,88	1,02	3,77
880,65	880,87	1,01	3,76
880,64	880,86	1,01	3,75
880,63	880,85	1,01	3,74
880,62	880,84	1,01	3,73
880,61	880,83	1,01	3,72
880,60	880,82	1,00	3,71
880,59	880,81	1,00	3,70
880,58	880,80	1,00	3,69
880,57	880,79	1,00	3,68
880,56	880,78	1,00	3,67
880,55	880,77	0,99	3,66
880,54	880,76	0,99	3,65
880,53	880,75	0,99	3,64
880,52	880,74	0,99	3,63
880,51	880,73	0,99	3,62
880,50	880,72	0,99	3,61
880,49	880,71	0,98	3,60
880,48	880,70	0,98	3,59
880,47	880,69	0,98	3,58
880,46	880,68	0,98	3,57
880,45	880,67	0,98	3,56
880,44	880,66	0,97	3,56
880,43	880,65	0,97	3,55
880,42	880,64	0,97	3,54

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km2)	Volume (hm3)
880,41	880,63	0,97	3,53
880,40	880,62	0,97	3,52
880,39	880,61	0,96	3,51
880,38	880,60	0,96	3,50
880,37	880,59	0,96	3,49
880,36	880,58	0,96	3,48
880,35	880,57	0,96	3,47
880,34	880,56	0,95	3,46
880,33	880,55	0,95	3,45
880,32	880,54	0,95	3,44
880,31	880,53	0,95	3,43
880,30	880,52	0,95	3,42
880,29	880,51	0,94	3,41
880,28	880,50	0,94	3,40
880,27	880,49	0,94	3,39
880,26	880,48	0,94	3,38
880,25	880,47	0,94	3,37
880,24	880,46	0,93	3,36
880,23	880,45	0,93	3,36
880,22	880,44	0,93	3,35
880,21	880,43	0,93	3,34
880,20	880,42	0,93	3,33
880,19	880,41	0,92	3,32
880,18	880,40	0,92	3,31
880,17	880,39	0,92	3,30
880,16	880,38	0,92	3,29
880,15	880,37	0,92	3,28
880,14	880,36	0,91	3,27
880,13	880,35	0,91	3,26
880,12	880,34	0,91	3,25
880,11	880,33	0,91	3,25
880,10	880,32	0,91	3,24
880,09	880,31	0,91	3,23
880,08	880,30	0,90	3,22
880,07	880,29	0,90	3,21
880,06	880,28	0,90	3,20
880,05	880,27	0,90	3,19
880,04	880,26	0,90	3,18
880,03	880,25	0,89	3,17
880,02	880,24	0,89	3,16
880,01	880,23	0,89	3,16
880,00	880,22	0,89	3,15
879,78	880,00	0,85	2,96
879,28	879,50	0,76	2,55

Cota de Operação (m)	Cota - SGB (m)	Área (km2)	Volume (hm3)
878,78	879,00	0,68	2,20
878,28	878,50	0,60	1,88
877,78	878,00	0,53	1,60
877,28	877,50	0,47	1,35
876,78	877,00	0,42	1,13
876,28	876,50	0,36	0,94
875,78	876,00	0,31	0,77
875,28	875,50	0,27	0,62
874,78	875,00	0,24	0,49
874,28	874,50	0,20	0,38
873,78	874,00	0,16	0,29
873,28	873,50	0,13	0,22
872,78	873,00	0,10	0,17
872,28	872,50	0,08	0,12
871,78	872,00	0,07	0,08
871,28	871,50	0,05	0,06
870,78	871,00	0,03	0,04
870,28	870,50	0,02	0,02
869,78	870,00	0,01	0,01
869,28	869,50	0,01	0,01
868,78	869,00	0,01	0,00
868,28	868,50	0,00	0,00
867,78	868,00	0,00	0,00
867,28	867,50	0,00	0,00
866,78	867,00	0,00	0,00
866,28	866,50	0,00	0,00
865,78	866,00	0,00	0,00
865,28	865,50	0,00	0,00



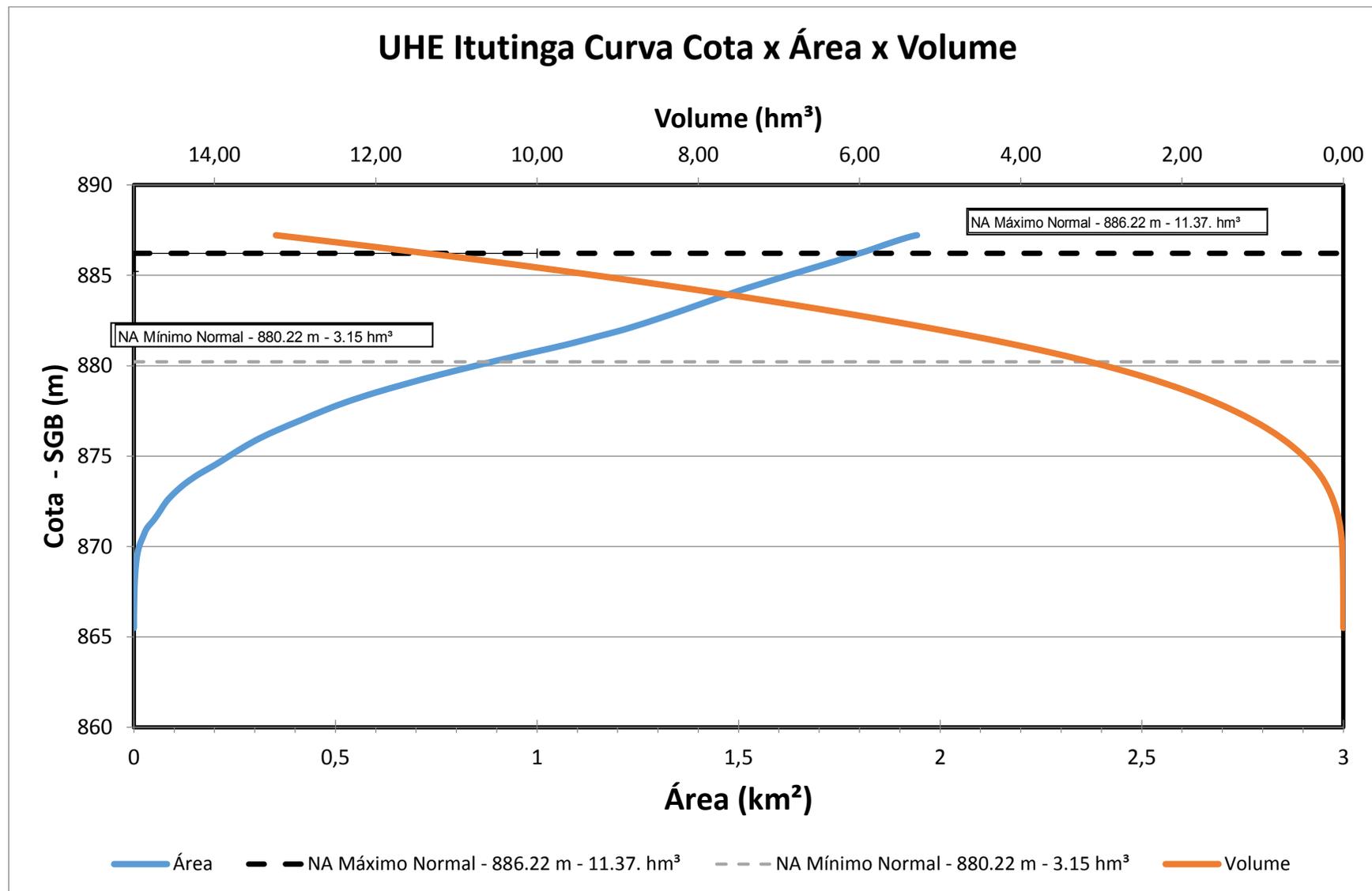


Figura 8-4 – Curvas CxAxV

8.2.4 Avaliação de Incertezas das Curvas Cota x Área x Volume

Considerando que os trabalhos de batimetria foram realizados com ecobatímetros de feixe único, a equidistância entre as linhas de sondagem transversais (ou seções topobatimétricas) no corpo principal do reservatório de acordo com as exigências da ANA deveria seguir a formulação proposta:

$$E_{ST} = \frac{0,35 \times A^{0,35}}{D} = \frac{0,35 \times 155^{0,35}}{1,89} = 1,082 \text{ km}$$

Tabela 1 – Valores para cálculo de seções topobatimétricas UHE Itutinga

Parâmetros	Valores
Área do reservatório no nível operacional normal (A)	1,55 Km ² = 155 ha
Extensão do reservatório (corpo principal), em nível operacional normal (D)	1,89 km

Porém para o caso da UHE Itutinga o levantamento executado adotou valores entre 50 e 100 metros para a equidistância das seções topobatimétricas transversais, além da execução de linhas longitudinais centrais e linhas margeando o reservatório. Sendo assim os levantamentos para a determinação das curvas CAV atingiram valores de incertezas bem menores do que as exigências da ANA.

8.2.5 Comparação da Curva Nova com a Curva Antiga

Para comparar a nova curva Cota x Área x Volume com curva atualmente em uso, foi elaborado o Quadro 8-2. Os volumes indicados nesse quadro foram obtidos a partir da curva CAV atualmente em utilização pela CEMIG, com a correção de 22 cm para referenciar ao SGB.

Quadro 8-2 - Comparação da Curva Cota x Área x Volume

Cota SGB (m)	Cota referência local (m)	Volume (hm ³)		Diferença (%) (b - a)
		Curva antiga (a)	Curva nova (b)	
880,22	880,00	4,17	3,15	-24,6%
886,22	886,00	11,40	11,37	-0,3%
887,22	887,00	13,00	13,24	1,8%

Essa comparação mostra que o volume do reservatório da UHE Itutinga no seu nível máximo normal, medido atualmente, é menor do que aquele indicado pela curva existente, sendo da ordem de menos de 1%.

8.3 Cartas Topobatimétricas

Após a elaboração do MDT final, foram geradas as curvas de nível e as cartas topobatimétricas em escala 1:1.000, que foram articuladas em folhas de tamanho A0 conforme a Figura 8-5 a seguir.

Esses desenhos elaborados estão apresentados no volume em meio digital, disponibilizado junto com o relatório final desse trabalho.



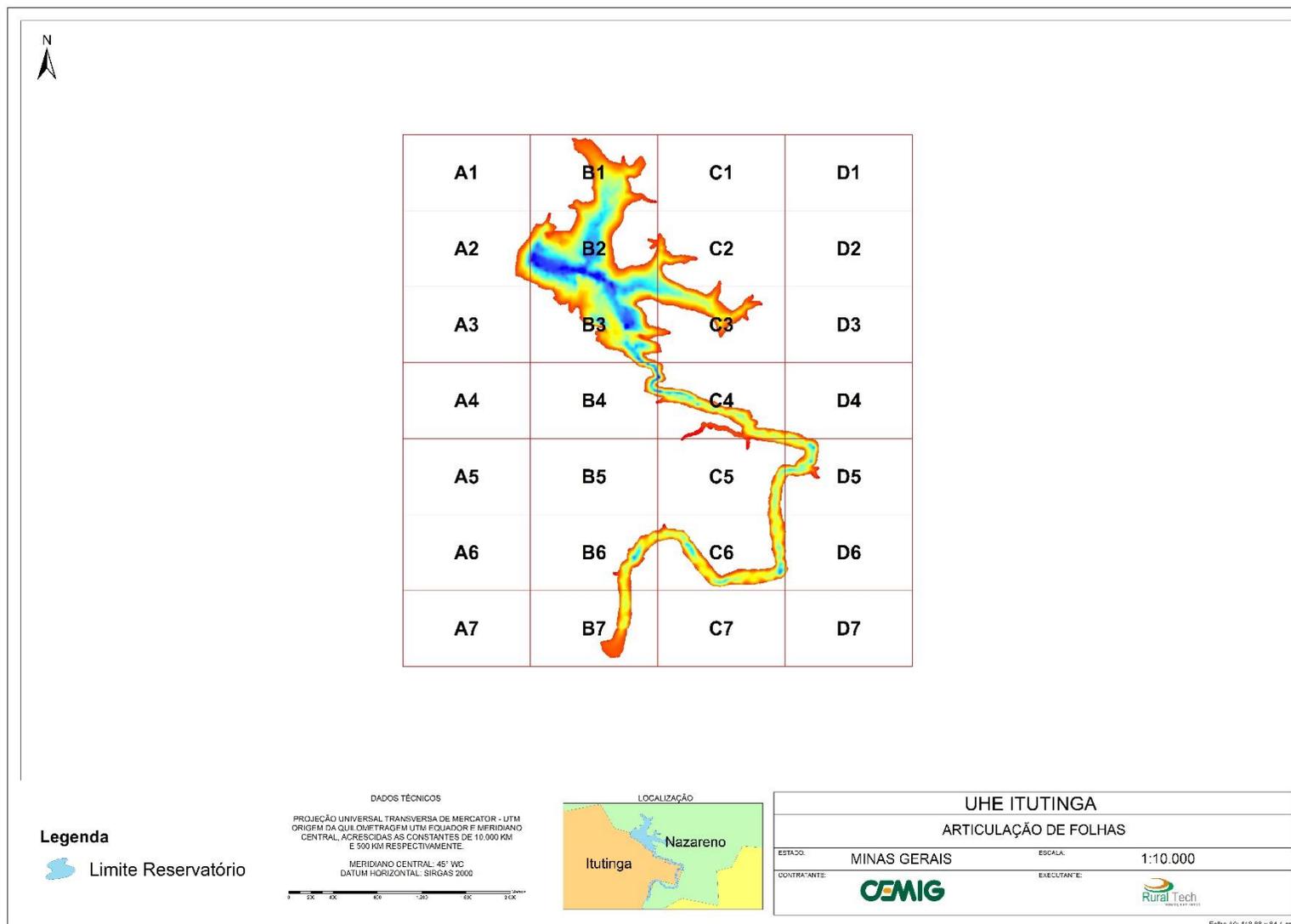


Figura 8-5 – Articulação das Cartas Topobatimétricas

8.4 Seções de Monitoramento de Deposição de Sedimentos

As seções de controle de sedimentos servem para monitorar a morfometria do canal do rio, ou reservatório, na região onde estas foram implantadas, e permitirão verificar efeitos de assoreamento ou erosão que eventualmente podem comprometer, em qualquer escala, o funcionamento normal da usina.

No caso da UHE Itutinga, o monitoramento do aporte e sedimentação de sólidos no reservatório será feito por meio de medição sistemática de profundidades do leito do rio Grande em 1 conjunto de 3 seções topobatimétricas, levantadas perpendicularmente ao fluxo. Dada a classificação do nível de criticidade do reservatório segundo o documento orientativo, as seções serão revisitadas em uma frequência mínima de 3 anos.

Ao se estabelecer uma periodicidade adequada de repetição desse levantamento, em uma mesma localização, após cada campanha será possível determinar a perda de área (em relação às medições anteriores) de cada uma dessas seções topobatimétricas, e, conseqüentemente, calcular o volume de sedimentos depositados ou retrabalhados no período. A acumulação e tratamento dos dados gerados pelas sucessivas campanhas permitirá uma análise da dinâmica dos sedimentos que transitam neste trecho do reservatório.

Os conjuntos de seções de controle de sedimentos implantados respeitam o limite mínimo de espaçamento entre elas de cinco vezes a largura do rio em condições naturais, e foram posicionadas onde se espera uma probabilidade maior de deposição de sedimentos no fundo, conforme descrito no *Item 7.5*.

Após a finalização dos levantamentos batimétricos e topográficos da área em que se encontravam localizadas as seções, foram gerados os perfis com o alinhamento criado pelo azimute entre os marcos implantados e medidos.

O Quadro 8-2 apresenta as coordenadas em SIRGAS2000 dos marcos das seções de controle e a Figura 8-6 apresenta a localização de todas as seções.

Quadro 8-2 – Marcos das Seções de Controle

Nome	Norte (m)	Este (m)	Latitude	Longitude	Cota Elipsoidal (m)	Cota Ortométrica (m)
SC-01-B	7.644.493,767	540.154,392	21°18'03,47731"S	44°36'46,28306"W	886,805	890,455
SC-01-A	7.644.451,019	540.065,936	21°18'04,87480"S	44°36'49,34957"W	887,48	891,130
SC-01-M-B	7.642.437,911	541.017,804	21°19'10,27713"S	44°36'16,13647"W	887,049	890,659
SC-01-M-A	7.642.542,457	541.011,072	21°19'06,87721"S	44°36'16,37925"W	884,959	888,569
SC-01-J-B	7.645.108,103	539.222,750	21°17'43,56862"S	44°37'18,66995"W	885,116	888,786
SC-01-J-A	7.645.613,898	539.483,783	21°17'27,09647"S	44°37'09,65259"W	886,492	890,162

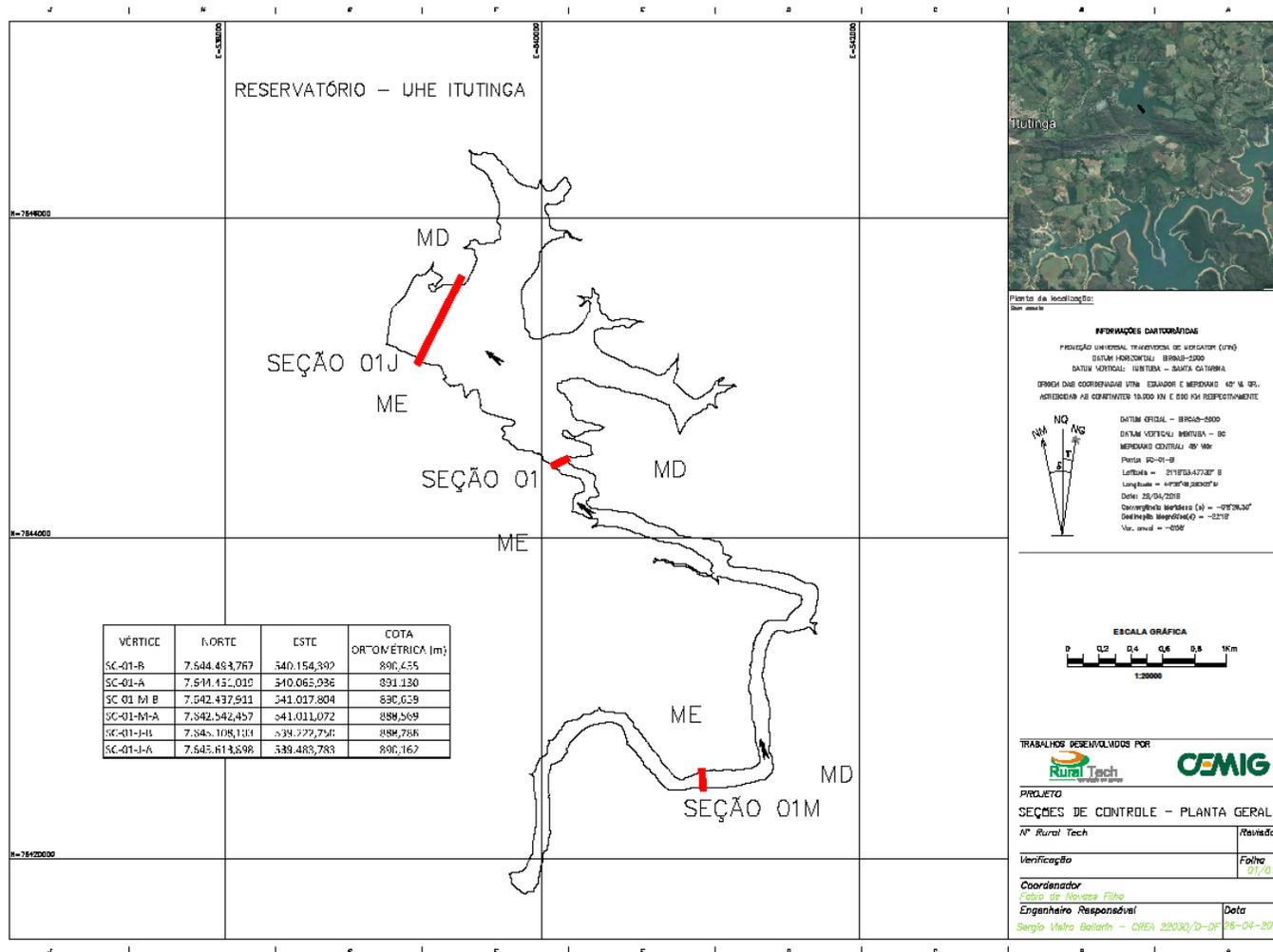


Figura 8-6 – Planta de Localização das Seções de Controle

9. CONCLUSÃO

Os trabalhos realizados permitiram atender plenamente a Resolução Conjunta 03/2010 – ANA/ANEEL, obtendo uma nova curva Cota x Área x Volume, garantindo a atualização de importantes informações para o gerenciamento da operação e otimização do uso dos recursos hídricos e energéticos, seja pela Cemig, ANA, ANEEL, ONS, ou outras entidades.

Os levantamentos de campo executados, notadamente o levantamento batimétrico através da tecnologia monofeixe por meio de seções com equidistância inferior a 100 metros, excederam os requisitos mínimos da resolução conjunta, uma vez que, a equidistância praticada foi aproximadamente 10 vezes menor do que a proposta. O emprego desta metodologia permitiu minimizar o grau de incerteza em levantamentos de extensas áreas de reservatório.

A implantação da rede de vértices geodésicos (RVG), além de servir de apoio aos levantamentos executados, está materializada e servirá de apoio e referência para outros trabalhos que se execute futuramente na região do reservatório.

Da mesma forma, a avaliação e validação do MapGeo 2015 na região, além de servir aos presentes levantamentos, constituirá uma referência para todos os trabalhos geodésicos na região do reservatório, tanto das entidades ligadas ao uso dos recursos hídricos e energéticos, como de outros setores da sociedade brasileira.

