

# UHE Ilha dos Pombos

## Relatório Técnico

Atualização das Curvas Cota x Área x Volume



Contratante: Light Energia S.A.

Contratado: Rural Tech Comércio E Serviços Eireli

CONTRATO DE SERVIÇOS BATIMÉTRICOS, DE GEODÉSIA E DE CARTOGRAFIA DESTINADOS AO ATENDIMENTO DO QUE ESTABELECE AS ORIENTAÇÕES PARA ATUALIZAÇÃO DA CURVA COTA X ÁREA X VOLUME PUBLICADAS PELA ANA – AGENCIA NACIONAL DE AGUAS, EM DEZEMBRO DE 2013.

## UHE ILHA DOS POMBOS

PMB-CAV-RT-AC-R02

ELABORAÇÃO:

Eng. Lucas Amorim de Sá

Geofísico Kayque Bergamashci

REVISÃO:

Eng. Sergio Vieira Ballarin

DEZEMBRO - 2016

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>4</b>
<b>2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA CONTRATADA</b> .....	<b>4</b>
<b>3. OBJETIVO</b> .....	<b>5</b>
<b>4. ORGANIZAÇÃO DOS DADOS</b> .....	<b>6</b>
<b>5. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO</b> .....	<b>7</b>
5.1 <b>CARACTERIZAÇÃO DA BACIA</b> .....	<b>7</b>
<b>6. CLASSIFICAÇÃO DO RESERVATÓRIO QUANTO O POTENCIAL DE ASSOREAMENTO</b> .....	<b>8</b>
6.1 <b>CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO POTENCIAL ASSOREAMENTO</b> .....	<b>8</b>
6.2 <b>POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS DA BACIA HIDROGRÁFICA (Pss)</b> .....	<b>9</b>
6.3 <b>POSIÇÃO DO RESERVATÓRIO NA CASCATA (PRC)</b> .....	<b>9</b>
6.4 <b>REGIME DE OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO (ROR)</b> .....	<b>10</b>
6.5 <b>MAGNITUDE E IMPORTÂNCIA DOS EFEITOS DO ASSOREAMENTO (MI)</b> .....	<b>11</b>
6.6 <b>DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE CRITICIDADE (NC)</b> .....	<b>12</b>
<b>7. LEVANTAMENTOS REALIZADOS</b> .....	<b>12</b>
7.1 <b>IMPLANTAÇÃO DA REDE DE VÉRTICES GEODÉSICOS - RVG</b> .....	<b>13</b>
7.2 <b>MODELO GEOIDAL</b> .....	<b>15</b>
7.3 <b>MAPEAMENTO DA ÁREA MOLHADA</b> .....	<b>16</b>
7.4 <b>MAPEAMENTO DA ÁREA SECA</b> .....	<b>18</b>
7.5 <b>IMPLANTAÇÃO DAS SEÇÕES DE CONTROLE</b> .....	<b>19</b>
<b>8. PRODUTOS E RESULTADOS</b> .....	<b>20</b>
8.1 <b>MODELO DIGITAL DO TERRENO – MDT</b> .....	<b>20</b>
8.1.1 <i>MODELO DIGITAL DO TERRENO</i> .....	<b>20</b>
8.2 <b>CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME</b> .....	<b>22</b>
8.2.1 <i>METODOLOGIA</i> .....	<b>22</b>
8.2.2 <i>CORRELAÇÃO DAS COTAS – SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO (SGB) X COTA DE OPERAÇÃO (RÉGUA DA UHE ILHA DOS POMBOS)</i> .....	<b>24</b>
8.2.3 <i>CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME</i> .....	<b>24</b>
8.2.4 <i>AVALIAÇÃO DE INCERTEZAS DAS CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME</i> .....	<b>34</b>
8.2.5 <i>COMPARAÇÃO COM A CURVA ANTIGA</i> .....	<b>34</b>
8.3 <b>CARTAS TOPOBATIMÉTRICAS</b> .....	<b>34</b>
8.4 <b>SEÇÕES DE MONITORAMENTO DE DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS</b> .....	<b>35</b>
<b>9. CONCLUSÃO</b> .....	<b>37</b>

**RELAÇÃO DOS DOCUMENTOS TÉCNICOS APRESENTADOS**

**Relatório Técnico - Atualização Das Curvas Cota X Área X Volume**

**ANEXO 01 - Levantamentos Geodésicos**

**ANEXO 02 - Levantamentos Batimétricos**

**ANEXO 03 – Levantamentos Aerofotogramétricos**

## 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 Ilha dos Pombos, localizada nos municípios de Volta Grande, no estado de Minas Gerais e Carmo, no estado do Rio de Janeiro. Os serviços de levantamentos geodésicos, topográficos e batimétricos foram executados pela empresa Rural Tech, no período entre os dias 04/12/2016 a 18/12/2016, conforme contrato Light Energia S.A. nº 4500364013.

A Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010, em seu Artigo 8º, determina que para as usinas despachadas centralizadas 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 o 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 Ilha dos Pombos.

## 2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA CONTRATADA

Fundada em 1984, a Rural Tech iniciou suas atividades como fabricante de máquinas e equipamentos de irrigação.

Após mais de duas décadas atuando em áreas relacionadas à produção agrícola, levantamentos em campo e projetos agrônômicos e de irrigação, a empresa concentrou suas atividades na área de levantamentos topográficos,

hidrométricos e geológicos para subsidiar projetos de geração de energia hidrelétrica.

Com a resposta positiva do mercado e suas expectativas de crescimento, a Rural Tech ampliou seus limites geográficos, atendendo seus clientes em toda parte do território nacional.

O ingresso na área de batimetria multifeixe trouxe à Rural Tech novas experiências e muito conhecimento agregado aos ativos organizacionais. Atualmente, possuímos uma história de parceria e trabalhos bem-sucedidos com grandes empresas, o que lhe garante o conhecimento das boas práticas específicas deste mercado, principalmente nos quesitos de qualidade.

Na busca constante da prestação de melhores serviços, a Rural Tech cada vez mais procura adquirir e incorporar ao seu acervo, profissionais e tecnologias atuais, além de manter um trabalho constante junto aos clientes e fornecedores no sentido de aprimorar continuamente seus processos.

A “Rural Tech” é uma empresa de prestação de serviços, com atividades voltadas ao campo de Topografia, Batimetria e Geomensura, desenvolve levantamentos de forma rápida e precisa de forma integrada para atendimento das necessidades de seus clientes.

### **3. OBJETIVO**

O objetivo desse trabalho é a atualização das curvas cota x área x volume da UHE Ilha dos Pombos, em atendimento à resolução conjunta ANA/ANEEL N °3 de 2010.

Para isso a contratada executou as seguintes atividades:

- Implantação da Rede de Vértices Geodésicos (RVG) no 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 Modelo Geoidal Brasileiro – MAPGEO 2015/2010.
- Elaboração, se necessário, de um Modelo Geoidal Local para a região do reservatório.

- Mapeamento da área molhada por meio de tecnologia de ensonificação do leito com sonar multifeixe e monofeixe de todo o espelho d'água do reservatório e braços.
- Mapeamento da área seca por meio de tecnologia de perfilamento a laser/LIDAR com no mínimo 2 pontos de leitura no terreno por metro quadrado.
- Implantação de Seções de Controle para o monitoramento do assoreamento.
- Integração dos Dados e Construção do Modelo Digital do Terreno.
- Definição das Curvas Cota x Área x Volume.
- Elaboração de Relatório Final para ser entregue a ANA.

#### **4. ORGANIZAÇÃO DOS DADOS**

Este trabalho é composto por um relatório técnico, denominado “*Atualização das Curvas Cota x Área x Volume*” e 3 (três) anexos.

O relatório técnico contém a classificação do reservatório quanto ao nível de criticidade, o Modelo Digital do Terreno – MDT, as cartas topobatimétricas, as seções de controle e as curvas Cota x Área x Volume do reservatório.

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.

O Anexo 03, denominado “Levantamentos Aerofotogramétricos”, contém todos os procedimentos para o mapeamento da área seca do reservatório e controle de qualidade da base cartográfica, bem como os produtos resultantes do perfilamento a laser – LIDAR e da cobertura aerofotogramétrica.

## 5. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

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

**Quadro 5-1 - Características do Empreendimento**

Localização	Rio Paraíba do Sul
Bacia Hidrográfica	Paraíba do Sul (58)
Sub-Bacia Hidrográfica	Paraíba do Sul
Município margem direita	Carmo - RJ
Município margem esquerda	Volta Grande - MG
Tipo	Fio D'água
Coordenadas geográficas da usina	21°50'36"S - 42°34'46"W
Potência Instalada (MW)	187
Entrada em operação	1924
Área de drenagem incremental (km <sup>2</sup> )	1750
Volume Útil (hm <sup>3</sup> ) – Antes da Atualização	6,77
Área inundada no N.A. Máximo Normal (km <sup>2</sup> )	4,26

Nota 1: Volumes antes da presente atualização da curva cota x área x volume.

### 5.1 Caracterização da Bacia

A bacia do rio Paraíba do Sul possui área de drenagem de cerca de 55.500 km<sup>2</sup> distribuída pelos estados de São Paulo (13.900 km<sup>2</sup>), Rio de Janeiro (20.900 km<sup>2</sup>) e Minas Gerais (20.700 km<sup>2</sup>). O comprimento do rio Paraíba do Sul, calculado a partir da nascente do Paraitinga, é de mais de 1.100 km.

A bacia do Paraíba do Sul drena uma das regiões mais desenvolvidas do país, abrangendo parte do Estado de São Paulo, na região conhecida como Vale do Paraíba Paulista, parte do Estado de Minas Gerais, denominada Zona da Mata Mineira, e metade do Estado do Rio de Janeiro. Em toda essa extensão há 180 municípios, 36 dos quais estão parcialmente inseridos na bacia. A população urbana total da bacia é 4.922.779 habitantes, segundo o Censo 2000 do IBGE, sendo que desses, 2.142.397 vivem no Estado do Rio de Janeiro, 1.632.670 em Minas Gerais e 1.147.712 em São Paulo.

No período entre as décadas de 1930 a 1960 foram construídas as principais barragens ao longo do rio, quais sejam: Paraibuna/Paraitinga, Santa Branca, Funil, Santa Cecília e Ilha dos Pombos.

Deve-se destacar o sistema Paraíba do Sul/Guandu, que é responsável por suprir de energia elétrica e água a cidade do Rio de Janeiro. Este sistema se subdivide em dois subsistemas:

- Paraíba: compreende a transposição das águas do rio Paraíba do Sul em Santa Cecília. Esse subsistema é composto pela estação elevatória de Santa Cecília, barragem de Santana, estação elevatória de Vigário, usinas hidrelétricas Nilo Peçanha e Fontes Nova, reservatório de Ponte Coberta e usina hidrelétrica Pereira Passos;
- Lajes: consiste das barragens de Tocos e Lajes, calha da CEDAE e das Usinas Fontes Nova e Fontes Velha.

([www.gripbsul.ana.gov.br/](http://www.gripbsul.ana.gov.br/))

## 6. CLASSIFICAÇÃO DO RESERVATÓRIO QUANTO O POTENCIAL DE ASSOREAMENTO

Os dados apresentados neste item 6 foram obtidos no documento “Plano De Trabalho Para Atualização Da Curva Cota-Área-Volume da UHE Ilha dos Pombos”, plano de trabalho da UHE Ilha dos Pombos entregue a ANA pela Light Energia em Outubro de 2015.

### 6.1 Classificação Quanto ao Potencial Assoreamento

O reservatório da UHE Ilha dos Pombos foi classificado com Nível de Criticidade Baixo (classe 1), em função dos parâmetros apresentados nos subitens seguintes, resumidos no Quadro 6-1.

**Quadro 6-1 – Quadro resumo dos parâmetros de classificação do reservatório quanto ao potencial de assoreamento**

Potencial de produção de Sedimentos na Bacia (Pss)	Baixo - 1
Posição do Reservatório na cascata (Prc)	Baixo - 1
Regime de Operação do reservatório (Ror)	Baixo - 1
Magnitude e Importância dos efeitos do assoreamento (MI)	Baixo - 1
Nível de Criticidade	Classe 3 (Baixo - 0,292)

## 6.2 Potencial de Produção de Sedimentos da Bacia Hidrográfica (Pss)

De acordo com as Orientações Para Atualização da Curvas Cota X Área X Volume da Agência Nacional de Aguas o potencial de produção de sedimentos, Pss, é classificado como:

- Pss < 25 ton/km<sup>2</sup>/ano → Baixo potencial (1)
- Pss entre 25 e 100 ton/km<sup>2</sup>/ano → Médio potencial (2)
- Pss > 100 ton/km<sup>2</sup>/ano → Alto potencial (3)

O Quadro 6-2 apresenta a classificação da UHE Ilha dos Pombos quanto ao potencial de produção de sedimentos:

**Quadro 6-2 - Classificação do Potencial de Produção de Sedimentos da Bacia**

DMS (t/ano) =	221
Ad(incrementa) (km <sup>2</sup> ) =	1750
PSS (t\km <sup>2</sup> \ano) =	0,126
<b>Baixo Potencial</b>	<b>1</b>

## 6.3 Posição do Reservatório na Cascata (Prc)

A proposta de classificação da ANA quanto à suscetibilidade associada à disposição relativa na cascata foi a seguinte:

- Reservatórios de Jusante com Pequena Bacia Incremental → **Baixa Suscetibilidade ao Assoreamento (1)**
- Reservatórios de Jusante com Grande Bacia Incremental → **Média Suscetibilidade ao Assoreamento (2)**
- Reservatórios de Cabeceira → **Alta Suscetibilidade ao Assoreamento (3)**

O reservatório da UHE Ilha dos Pombos é o último da cascata do rio Paraíba do Sul, como se pode verificar no Figura 6-1. Sendo um reservatório de jusante com pequena bacia incremental é classificado como de **Baixa Suscetibilidade (1)**.

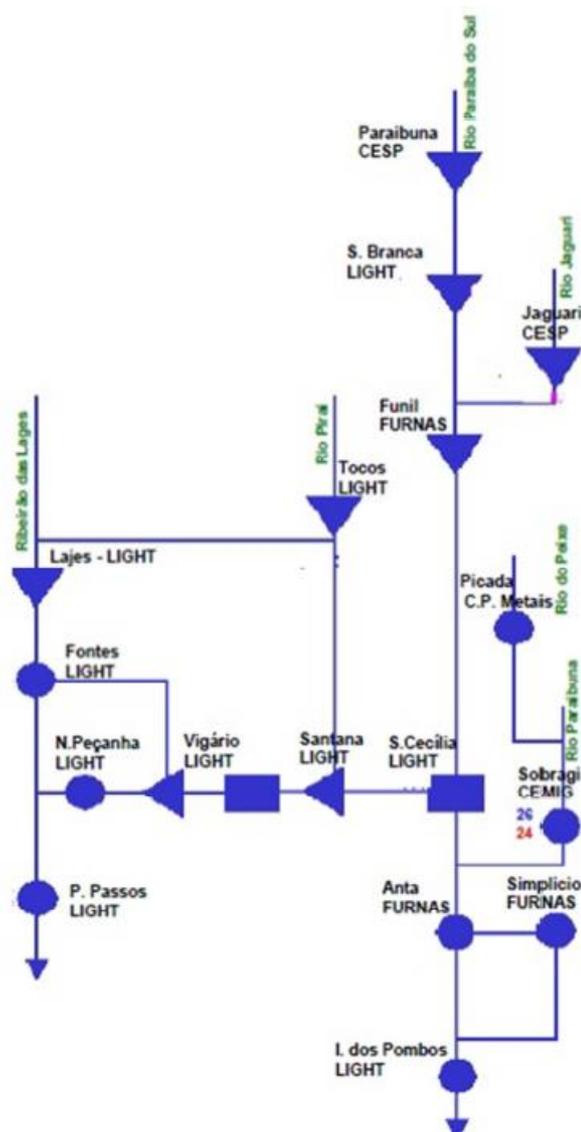


Figura 6-1 – Diagrama Esquemático das Usinas Hidroelétricas da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul

#### 6.4 Regime de Operação do Reservatório (Ror)

A classificação para a suscetibilidade ao assoreamento, em função do regime de operação do reservatório, baseia-se em um índice de regularização (IR, valor expresso em dias) dado pela seguinte expressão:

$$IR = \frac{\text{Volumeútil}}{\text{VazãoTurbinadaMédia}}$$

Ao qual aplica-se o seguinte critério:

- IR < 30 dias → **Baixa Suscetibilidade (1)**.
- IR entre 30 e 150 dias → **Média Suscetibilidade (2)**.
- IR > 150 dias → **Alta Suscetibilidade (3)**.

O valor da vazão turbinada média foi obtido pela relação entre energia garantida e produtividade média disponíveis no Quadro 5-1.

O Quadro 6-3 apresenta a classificação da UHE Ilha dos Pombos quanto ao regime de operação do reservatório.

**Quadro 6-3 – Classificação quanto ao regime de operação do reservatório**

Volume Útil (hm <sup>3</sup> ) =	6,77
Vazão Turbinada Média (m <sup>3</sup> /s) =	444,359
IR (dias) =	0,176
<b>Baixa suscetibilidade</b>	<b>1</b>

## 6.5 Magnitude e importância dos efeitos do assoreamento (MI)

A classificação para a magnitude e importância dos efeitos do assoreamento indicados pela ANA são os seguintes:

- Reservatórios, nos quais pelo menos um dos parâmetros anteriores seja considerado como de Alta Suscetibilidade ou Potencial, constituem total ou parcialmente hidrovias ou ainda possuam pelo menos três municípios com mais de 50 mil habitantes de forma ribeirinha → **Alta Externalidade (3)**.
- Reservatórios, nos quais nenhum dos parâmetros anteriores seja considerado como de Alta Suscetibilidade ou Potencial, e pelo menos um dos parâmetros anteriores seja considerado como de Média Suscetibilidade ou Potencial, ou ainda possuam pelo menos dois municípios com mais de 50 mil habitantes de forma ribeirinha → **Média Externalidade (2)**.
- Demais Reservatórios → **Baixa Externalidade (1)**.

O Quadro 6-4 apresenta os municípios que tiveram área inundada pelo reservatório, a população correspondente estimada pelo IBGE para o ano de 2013 e a classificação do reservatório quanto à magnitude e importância dos efeitos do assoreamento.

**Quadro 6-4 - Classificação quanto a magnitude efeitos do assoreamento**

<b>Carmo</b>	<b>17.944 hab</b>
--------------	-------------------

<b>Sapucaia</b>	<b>17.525 hab</b>
<b>Alem Paraiba</b>	<b>35.559 hab</b>
<b>Baixa externalidade</b>	<b>1</b>

## 6.6 Determinação do Nível de Criticidade (NC)

O nível de criticidade é calculado com base nas classificações anteriores e tem o seu enquadramento definido nas seguintes faixas:

- **Classe 1 - Nível de Criticidade Alto ( $NC \geq 0,75$ ):** reservatório onde há risco de assoreamento e onde este processo pode trazer efeitos negativos à geração de energia ou a outros usos da água.
- **Classe 2 - Nível de Criticidade Médio ( $0,50 \leq NC < 0,75$ ):** reservatório onde o risco de assoreamento é menor ou onde os efeitos esperados do mesmo não são tão importantes.
- **Classe 3 - Nível de Criticidade Baixo ( $NC < 0,50$ ):** reservatórios situados em bacias hidrográficas com pouca produção de sedimento, onde o risco de assoreamento é muito baixo.

Para a UHE Ilha dos Pombos temos

$$NC = \frac{PSS + PRC + 4.ROR + MI}{21}$$

**NC = 0,292** o que classifica o reservatório como **Classe 3 – Nível de criticidade**

**Baixo ( $0,50 < NC$ ).**

## 7. LEVANTAMENTOS REALIZADOS

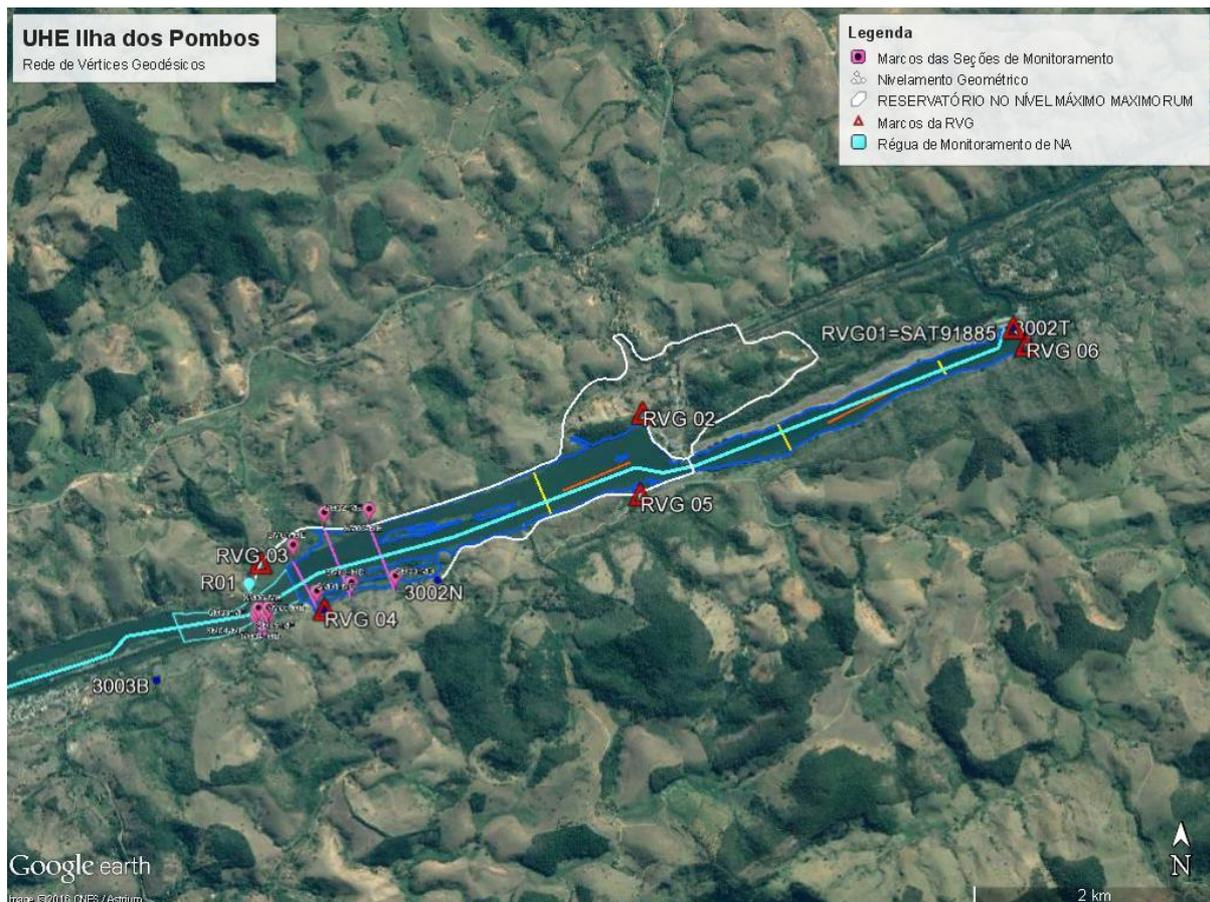
No presente item são descritos os levantamentos realizados, que atendem a todos os requisitos da Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010, conforme o enquadramento do reservatório realizado no item anterior. Maiores detalhes sobre os procedimentos de execução dos serviços se encontram nos volumes Anexo 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 Ilha dos Pombos, composta por um total de 6 vértices principais distribuídos uniformemente ao longo do reservatório. Seus vértices tiveram suas coordenadas planas determinadas por posicionamento GNSS com receptores de dupla frequência, e suas elevações 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 avaliação do MapGeo e elaboração do Modelo Geoidal Local.

A Figura 7-1 ilustra todos os serviços executados para a implantação da RVG do reservatório de Capivara e o Quadro 7-1 apresenta as coordenadas dos vértices da RVG implantados.



**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)
<b>RVG01 = SAT91885</b>	7.582.455,687	750.269,785	21°50'38,90890"S	42°34'42,80680"W	134,541	140,457
<b>RVG02</b>	7.581.783,892	747.158,524	21°51'02,32089"S	42°36'30,73988"W	141,154	147,029
<b>RVG03</b>	7.580.573,486	743.983,595	21°51'43,24924"S	42°38'20,61322"W	130,755	136,567
<b>RVG04</b>	7.580.201,684	744.524,954	21°51'55,06133"S	42°38'01,56756"W	134,030	139,832
<b>RVG05</b>	7.581.129,566	747.155,479	21°51'23,58578"S	42°36'30,49175"W	142,413	148,268
<b>RVG06</b>	7.582.302,481	750.341,892	21°50'43,85061"S	42°34'40,21301"W	130,870	136,762

## 7.2 Modelo Geoidal

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.

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 MapGeo. Após análise foi observado que o MapGeo 2010 apresentou na região do reservatório da UHE Ilha dos Pombos, 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 MapGeo2010 na região do reservatório bem como os pontos utilizados para a validação do mesmo é apresentada na Figura 7-2 e Quadro 7-2 a seguir, a escolha do modelo de 2010 se deu por este ter apresentado melhores resultados quando comparados com os dados coletados em campo do que o modelo mais novo de 2015.

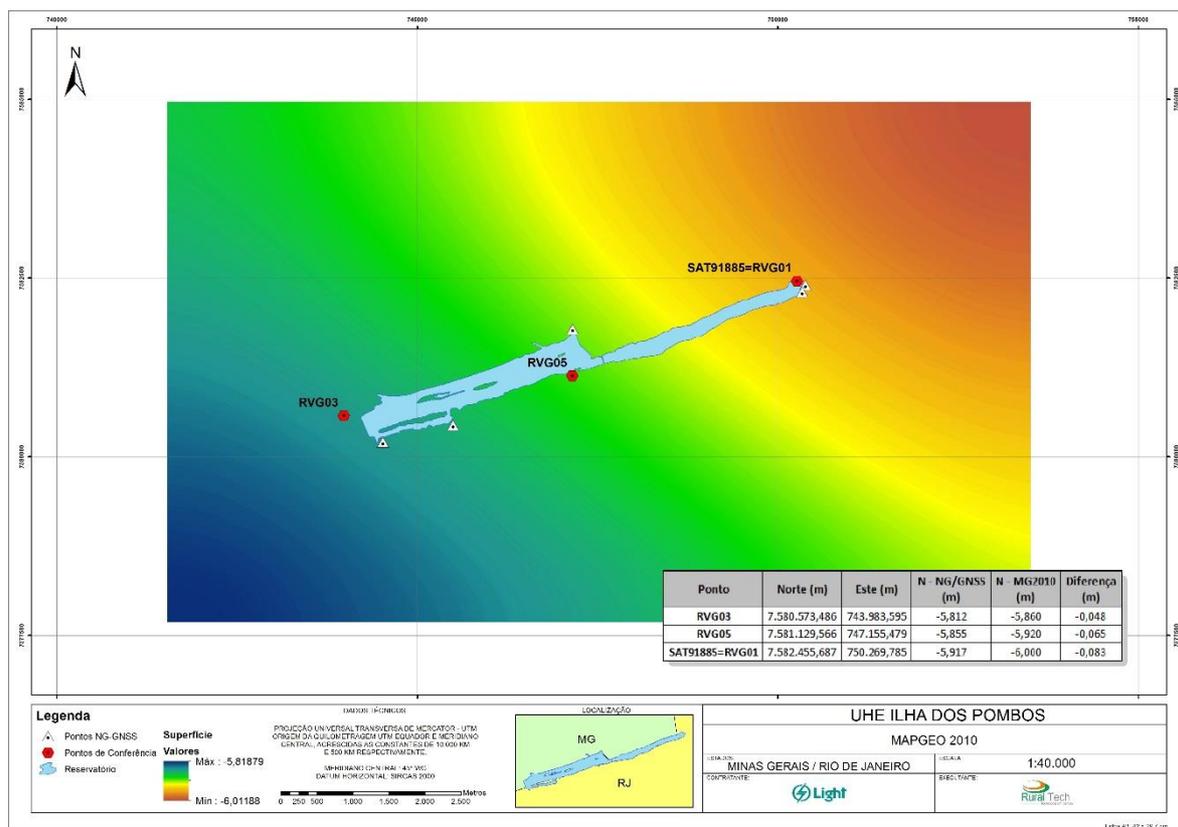


Figura 7-2 – Modelo Gravimacional Brasileiro – MapGeo2010

Quadro 7-2 – Pontos de Conferência do MapGeo 2010

Ponto	Norte (m)	Este (m)	N - NG/GNSS (m)	N - MG2010 (m)	Diferença (m)
RVG03	7.580.573,486	743.983,595	-5,812	-5,860	0,048
RVG05	7.581.129,566	747.155,479	-5,855	-5,920	0,065
SAT91885=RVG01	7.582.455,687	750.269,785	-5,917	-6,000	0,083

### 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 95% do reservatório. O espaçamento médio utilizado entre as linhas de sondagem foi de 30 metros nas linhas transversais em todo o corpo principal e em cada um dos contribuintes. Esses levantamentos

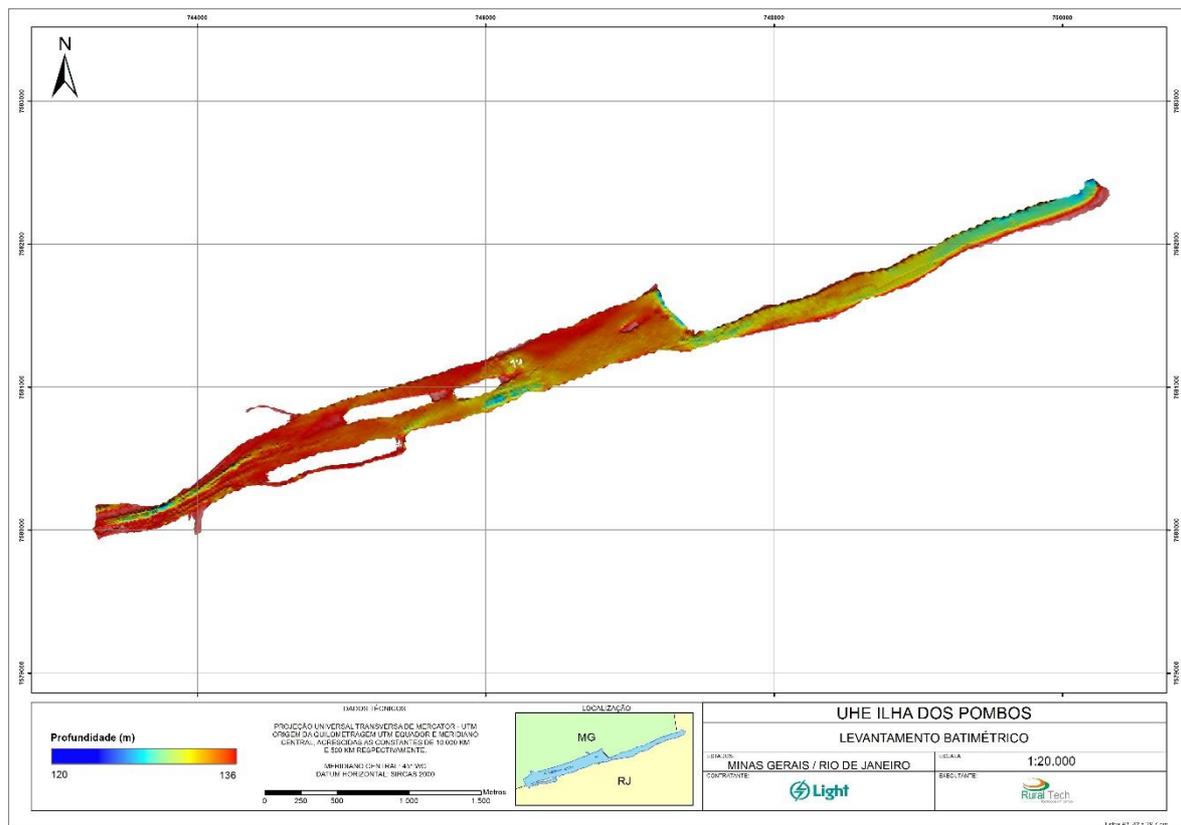
batimétricos realizados no reservatório da UHE Ilha dos Pombos totalizaram aproximadamente 1,7 km<sup>2</sup>.

A amarração altimétrica ocorreu por meio de uma integração de dados de nível da estação fluviométrica instalada no reservatório, além dos dados de nível de montante da UHE Ilha dos Pombos, fornecidos pela Light num intervalo de 15 em 15 minutos. Todos esses dados foram referenciados ao Sistema Geodésico Brasileiro através da Rede de Vértices Geodésicos implantada ao longo do reservatório e ao MAPGEO 2010. Também foi feita a correlação entre as leituras da régua de operação, obtidas da Light, 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 Ilha dos Pombos foi compreendido entre os dias 13 e 14 de Dezembro de 2016. Para um melhor aproveitamento e melhor produtividade dos levantamentos, foi designado equipamento específico para o tipo de área a ser levantada. Devido as características dos reservatórios, de baixas a médias profundidades (em média 5 metros de profundidade) e sua pouca área de espelho d'água optou-se pela utilização única de ecobatímetro monofeixe.

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 2016.

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".



**Figura 7-3 - Grid final da batimetria do reservatório da UHE Ilha dos Pombos**

## 7.4 Mapeamento da Área Seca

O mapeamento da área seca foi realizado com o objetivo de complementar o levantamento batimétrico, de forma a construir um Modelo Digital do Terreno – MDT desde o nível d’água observado do reservatório até a sua área de abrangência imageada. No caso do reservatório da UHE Ilha dos Pombos foi realizado o mapeamento de toda a área contida em um buffer de 150 metros em relação ao máximo maximum externa ao reservatório, incluindo integralmente as ilhas ou penínsulas.

Para mapear a parte seca do reservatório, optou-se pela utilização da tecnologia de Perfilamento a Laser / LIDAR. O sistema de Perfilamento a Laser Aerotransportado (ALS – Airborne Laser Scanning) é um sensor remoto ativo acoplado dentro da aeronave. O feixe emitido pelo sensor permite medir a distância entre o sistema e a superfície dos objetos de maneira eficaz, obtendo dados digitais tridimensionais da superfície e do terreno com grande precisão.

A definição do número de pontos por metro quadrado, a altura do voo, a sobreposição longitudinal das faixas, o tempo de aquisição e a velocidade de voo

são parâmetros definidos no plano de voo. No caso da UHE Ilha dos Pombos foi realizado um voo com altura definida em 1000 metros, ângulo de escaneamento de 20°, largura da faixa de 700 metros e sobreposição longitudinal de 60%. Isso permitiu o levantamento de uma nuvem de pontos com uma densidade mínima de 2 pontos por metro quadrado.

Esses pontos tiveram sua planimetria processada a partir da Rede de Vértices Geodésicos e altimetria processada utilizando o MapGeo2010 validado a partir dos levantamentos geodésicos realizados nesta fase dos trabalhos e apresentado no Anexo 01.

Foram gerados os seguintes produtos, conforme já descritos no Anexo 03:

- Bases do Voo;
- Curvas de Nível;
- Faixas Laser;
- Malha Regular (*Grid*).

## 7.5 Implantação das Seções de Controle

Para a UHE Ilha dos Pombos foram implantados 2 conjuntos de 3 seções cada, de acordo com o seguinte exposto.

Em função do reservatório da UHE Ilha dos Pombos estar classificado com um nível de criticidade baixo e da presença de um tributário significativo foram instalados dois conjuntos com três seções de controle topobatimétrico cada, posicionadas conforme indicação da contratante. O espaçamento entre as seções foi da ordem de cinco vezes a largura do Rio Paraíba do Sul, conforme indicado pela Light na especificação técnica.

Para garantir um maior nível de detalhe nas seções de monitoramento, para a área molhada foram executadas seções em separado das demais segundo um planejamento específico e para o levantamento da área seca foram utilizados estação total ou GNSS/RTK de acordo com as condições do local de cada seção.

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:

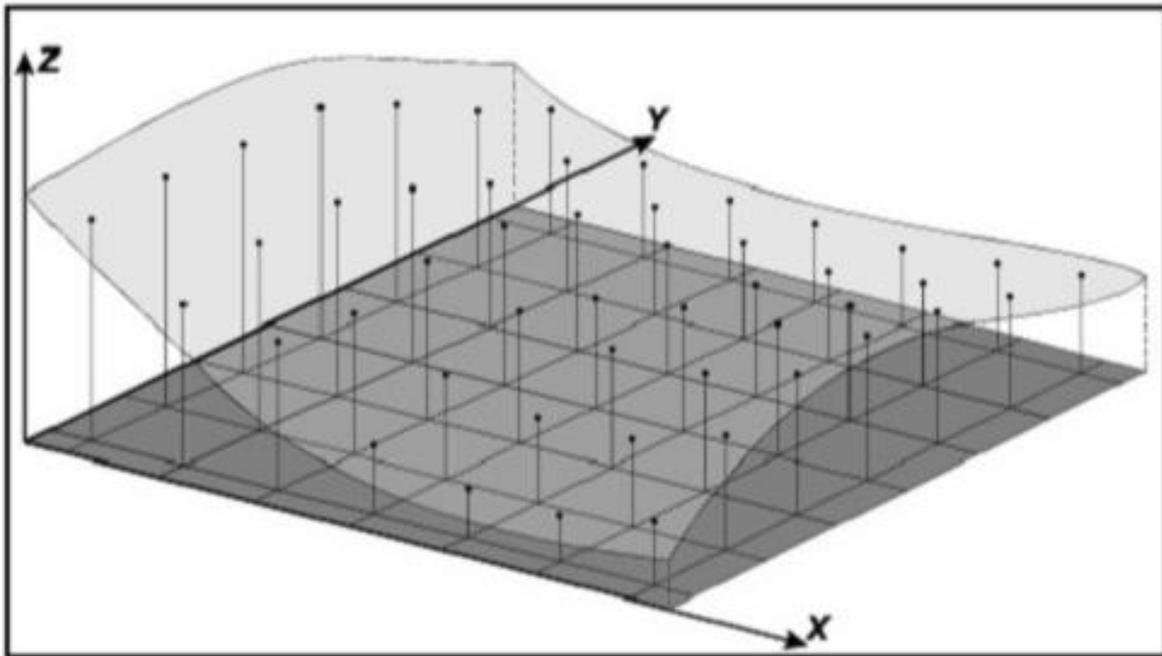
- Todos os marcos implantados foram amarrados aos vértices da RVG;
- O posicionamento dos marcos foi definindo buscando locais de baixa obstrução do sinal, minimizando os efeitos de multicaminhamento nos dados GNSS e de forma a garantir que todo o levantamento da seção de monitoramento seja efetuado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

#### 8.1.1 *Modelo Digital do Terreno*

O produto final dos levantamentos da área seca e molhada é uma grade regular retangular, em uma estrutura matricial que contém pontos 3D regularmente espaçados no plano XY, no caso da UHE Ilha dos Pombos esse espaçamento foi de 2m x 2m. Tal modelo digital aproxima superfícies por meio de um poliedro de faces retangulares, como mostra a Figura 8-1. Esse produto pode ser representado por uma tabela ou por um arquivo de texto com as informações XYZ de cada ponto.



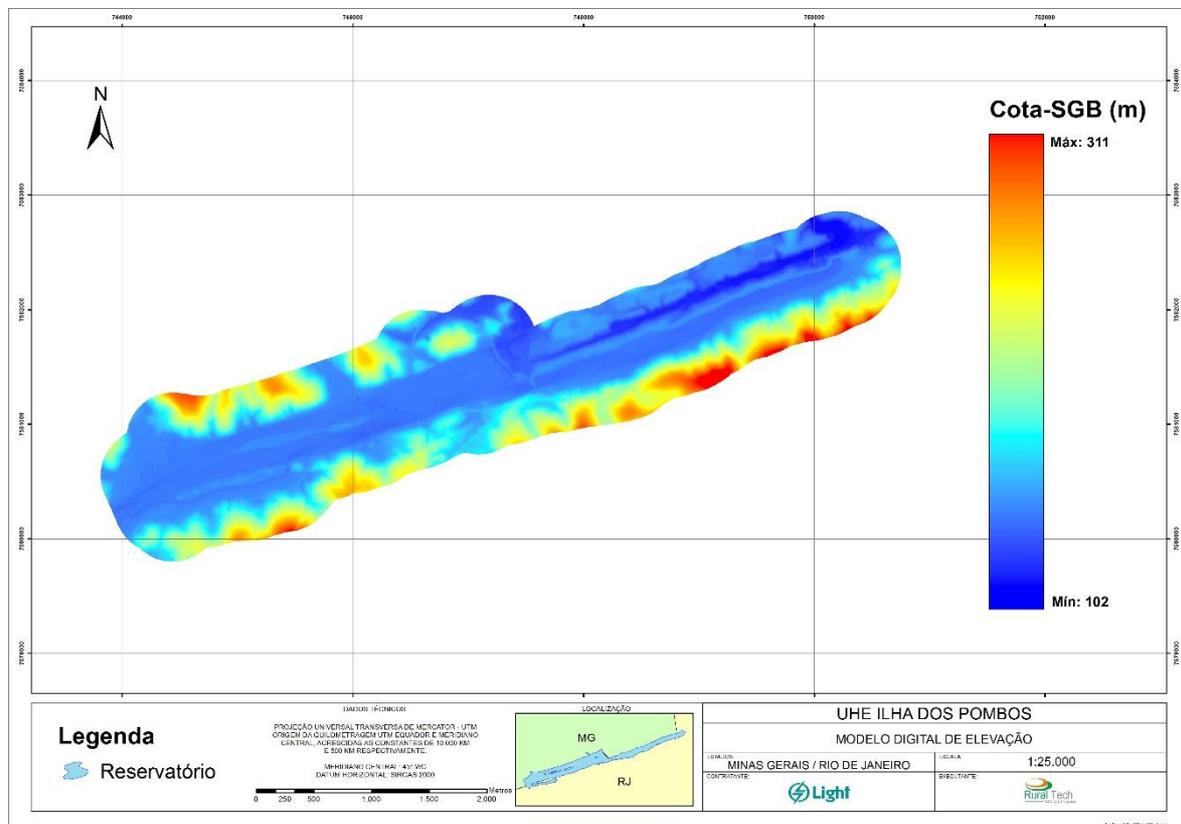
**Figura 8-1 – Superfície e grade regular correspondente**

A interpolação dos dados oriundos da batimetria com os dados do aerolevanteamento 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 conectada. 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 4 insumos, o grid da batimetria, o grid da perfilamento a laser, o contorno do reservatório como breakline e o polígono de determinação do limite externo do MDT a ser elaborado. Para o caso da UHE Ilha dos Pombos a breakline foi formada pela menor curva levantada

peelo perfilamento a laser e o polígono externo foi formado por um offset de 150m em relação ao máximo maximum do reservatório.



**Figura 8-2 – Modelo Digital do Terreno**

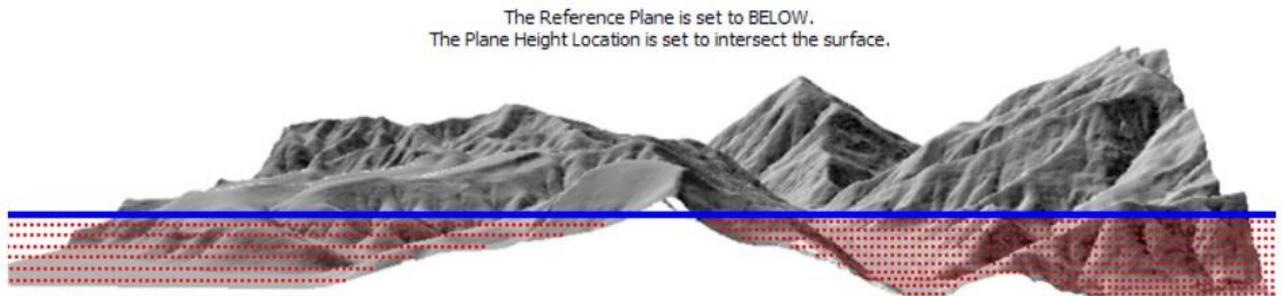
## 8.2 Curvas Cota x Área x Volume

### 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.

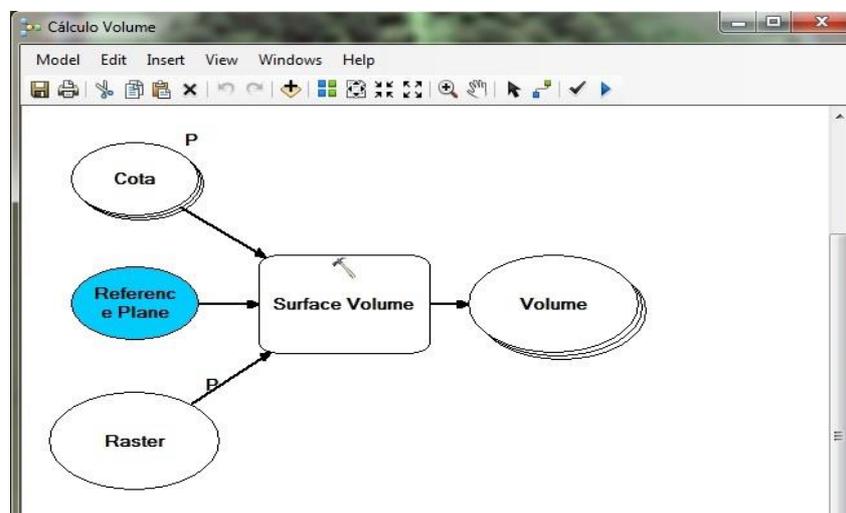
É necessário determinar se os cálculos serão realizados acima ou abaixo do plano de referência. Quando se define que os cálculos serão realizados abaixo do plano de referência, a área projetada e a área da superfície são calculadas no intervalo entre a superfície do MDE e a altitude desejada, como pode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



**Figura 8-3 - 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 8-4 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 8-4 - 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 Ilha dos Pombos.

### **8.2.2 Correlação das Cotas – Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) x Cota de Operação (Régua da UHE Ilha dos Pombos)**

Para efeito de registro deve-se destacar que os reservatórios do complexo Lajes e Ilha dos Pombos possuem 3 (três) referenciais altimétricos, um sendo a cota operacional observada pelo sistema telemétrico das usinas, que será chamado de **Cota Operacional LIGHT**, outro sendo a cota SGB transportada por meio de nivelamento geométrico realizado em um momento passado e materializada pela implantação das réguas milimétricas existentes na região dos barramentos, que será chamado de **Cota - SGB Light**, e por último a cota SGB transportada por meio de nivelamento geométrico de precisão realizado no momento da execução da batimetria, que será chamado de **Cota – SGB Batimetria**.

Sendo assim, destaca-se que para a UHE Ilha dos Pombos a diferença de 4,12m entre as elevações no **SGB - Light** e a referência de nível local usada na operação da UHE Ilha dos Pombos (**Cota Local**) é a mesma diferença de 4,12m entre as elevações no **SGB – Batimetria** e a referência de nível local usada na operação da UHE Ilha dos Pombos (**Cota Local**).

No presente trabalho, todas as amarrações topográficas estão referenciadas ao **SGB - Batimetria**, incluindo a RVG e seções de controle.

### **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 -7.

**Quadro 8-1 – Curvas Cota x Área x Volume**

Cota de Operação LIGHT (m)	Cota - SGB LIGHT	Cota - SGB Batimetria (m)	Area (km2)	Volume (hm3)
140,00	135,88	135,88	1,931	8,039
139,99	135,87	135,87	1,930	8,020
139,98	135,86	135,86	1,929	8,000
139,97	135,85	135,85	1,928	7,981
139,96	135,84	135,84	1,927	7,962
139,95	135,83	135,83	1,925	7,943
139,94	135,82	135,82	1,924	7,923
139,93	135,81	135,81	1,923	7,904
139,92	135,80	135,80	1,922	7,885
139,91	135,79	135,79	1,921	7,866
139,90	135,78	135,78	1,920	7,846
139,89	135,77	135,77	1,918	7,827
139,88	135,76	135,76	1,917	7,808
139,87	135,75	135,75	1,916	7,789
139,86	135,74	135,74	1,915	7,770
139,85	135,73	135,73	1,914	7,751
139,84	135,72	135,72	1,912	7,731
139,83	135,71	135,71	1,911	7,712
139,82	135,70	135,70	1,910	7,693
139,81	135,69	135,69	1,909	7,674
139,80	135,68	135,68	1,908	7,655
139,79	135,67	135,67	1,907	7,636
139,78	135,66	135,66	1,905	7,617
139,77	135,65	135,65	1,904	7,598
139,76	135,64	135,64	1,903	7,579
139,75	135,63	135,63	1,902	7,560
139,74	135,62	135,62	1,901	7,541
139,73	135,61	135,61	1,900	7,522
139,72	135,60	135,60	1,898	7,503
139,71	135,59	135,59	1,897	7,484
139,70	135,58	135,58	1,896	7,465
139,69	135,57	135,57	1,895	7,446
139,68	135,56	135,56	1,894	7,427
139,67	135,55	135,55	1,892	7,408
139,66	135,54	135,54	1,891	7,389
139,65	135,53	135,53	1,890	7,370
139,64	135,52	135,52	1,889	7,351
139,63	135,51	135,51	1,888	7,332
139,62	135,50	135,50	1,886	7,314
139,61	135,49	135,49	1,885	7,295
139,60	135,48	135,48	1,884	7,276

Cota de Operação LIGHT (m)	Cota - SGB LIGHT	Cota - SGB Batimetria (m)	Area (km2)	Volume (hm3)
139,59	135,47	135,47	1,883	7,257
139,58	135,46	135,46	1,882	7,238
139,57	135,45	135,45	1,880	7,219
139,56	135,44	135,44	1,879	7,201
139,55	135,43	135,43	1,878	7,182
139,54	135,42	135,42	1,877	7,163
139,53	135,41	135,41	1,875	7,144
139,52	135,40	135,40	1,874	7,126
139,51	135,39	135,39	1,873	7,107
139,50	135,38	135,38	1,872	7,088
139,49	135,37	135,37	1,871	7,069
139,48	135,36	135,36	1,869	7,051
139,47	135,35	135,35	1,868	7,032
139,46	135,34	135,34	1,867	7,013
139,45	135,33	135,33	1,865	6,995
139,44	135,32	135,32	1,864	6,976
139,43	135,31	135,31	1,863	6,957
139,42	135,30	135,30	1,862	6,939
139,41	135,29	135,29	1,860	6,920
139,40	135,28	135,28	1,859	6,901
139,39	135,27	135,27	1,858	6,883
139,38	135,26	135,26	1,856	6,864
139,37	135,25	135,25	1,855	6,846
139,36	135,24	135,24	1,853	6,827
139,35	135,23	135,23	1,852	6,809
139,34	135,22	135,22	1,851	6,790
139,33	135,21	135,21	1,849	6,772
139,32	135,20	135,20	1,848	6,753
139,31	135,19	135,19	1,846	6,735
139,30	135,18	135,18	1,845	6,716
139,29	135,17	135,17	1,843	6,698
139,28	135,16	135,16	1,842	6,679
139,27	135,15	135,15	1,840	6,661
139,26	135,14	135,14	1,839	6,643
139,25	135,13	135,13	1,837	6,624
139,24	135,12	135,12	1,835	6,606
139,23	135,11	135,11	1,834	6,587
139,22	135,10	135,10	1,832	6,569
139,21	135,09	135,09	1,830	6,551
139,20	135,08	135,08	1,829	6,533
139,19	135,07	135,07	1,827	6,514
139,18	135,06	135,06	1,825	6,496

Cota de Operação LIGHT (m)	Cota - SGB LIGHT	Cota - SGB Batimetria (m)	Area (km2)	Volume (hm3)
139,17	135,05	135,05	1,824	6,478
139,16	135,04	135,04	1,822	6,459
139,15	135,03	135,03	1,820	6,441
139,14	135,02	135,02	1,819	6,423
139,13	135,01	135,01	1,817	6,405
139,12	135,00	135,00	1,816	6,387
139,11	134,99	134,99	1,814	6,369
139,10	134,98	134,98	1,812	6,350
139,09	134,97	134,97	1,811	6,332
139,08	134,96	134,96	1,809	6,314
139,07	134,95	134,95	1,808	6,296
139,06	134,94	134,94	1,806	6,278
139,05	134,93	134,93	1,805	6,260
139,04	134,92	134,92	1,803	6,242
139,03	134,91	134,91	1,802	6,224
139,02	134,90	134,90	1,800	6,206
139,01	134,89	134,89	1,799	6,188
139,00	134,88	134,88	1,797	6,170
138,99	134,87	134,87	1,795	6,152
138,98	134,86	134,86	1,794	6,134
138,97	134,85	134,85	1,792	6,116
138,96	134,84	134,84	1,791	6,098
138,95	134,83	134,83	1,789	6,080
138,94	134,82	134,82	1,787	6,062
138,93	134,81	134,81	1,786	6,045
138,92	134,80	134,80	1,784	6,027
138,91	134,79	134,79	1,783	6,009
138,90	134,78	134,78	1,781	5,991
138,89	134,77	134,77	1,779	5,973
138,88	134,76	134,76	1,778	5,955
138,87	134,75	134,75	1,776	5,938
138,86	134,74	134,74	1,775	5,920
138,85	134,73	134,73	1,773	5,902
138,84	134,72	134,72	1,771	5,884
138,83	134,71	134,71	1,770	5,867
138,82	134,70	134,70	1,768	5,849
138,81	134,69	134,69	1,766	5,831
138,80	134,68	134,68	1,765	5,814
138,79	134,67	134,67	1,763	5,796
138,78	134,66	134,66	1,762	5,778
138,77	134,65	134,65	1,760	5,761
138,76	134,64	134,64	1,758	5,743

Cota de Operação LIGHT (m)	Cota - SGB LIGHT	Cota - SGB Batimetria (m)	Area (km2)	Volume (hm3)
138,75	134,63	134,63	1,757	5,726
138,74	134,62	134,62	1,755	5,708
138,73	134,61	134,61	1,753	5,691
138,72	134,60	134,60	1,752	5,673
138,71	134,59	134,59	1,750	5,656
138,70	134,58	134,58	1,748	5,638
138,69	134,57	134,57	1,747	5,621
138,68	134,56	134,56	1,745	5,603
138,67	134,55	134,55	1,744	5,586
138,66	134,54	134,54	1,742	5,568
138,65	134,53	134,53	1,740	5,551
138,64	134,52	134,52	1,739	5,533
138,63	134,51	134,51	1,737	5,516
138,62	134,50	134,50	1,736	5,499
138,61	134,49	134,49	1,734	5,481
138,60	134,48	134,48	1,732	5,464
138,59	134,47	134,47	1,731	5,447
138,58	134,46	134,46	1,729	5,429
138,57	134,45	134,45	1,728	5,412
138,56	134,44	134,44	1,726	5,395
138,55	134,43	134,43	1,725	5,378
138,54	134,42	134,42	1,723	5,360
138,53	134,41	134,41	1,721	5,343
138,52	134,40	134,40	1,720	5,326
138,51	134,39	134,39	1,718	5,309
138,50	134,38	134,38	1,717	5,291
138,49	134,37	134,37	1,715	5,274
138,48	134,36	134,36	1,714	5,257
138,47	134,35	134,35	1,712	5,240
138,46	134,34	134,34	1,711	5,223
138,45	134,33	134,33	1,709	5,206
138,44	134,32	134,32	1,708	5,189
138,43	134,31	134,31	1,706	5,172
138,42	134,30	134,30	1,705	5,155
138,41	134,29	134,29	1,703	5,138
138,40	134,28	134,28	1,702	5,121
138,39	134,27	134,27	1,700	5,103
138,38	134,26	134,26	1,699	5,087
138,37	134,25	134,25	1,697	5,070
138,36	134,24	134,24	1,695	5,053
138,35	134,23	134,23	1,694	5,036
138,34	134,22	134,22	1,692	5,019

Cota de Operação LIGHT (m)	Cota - SGB LIGHT	Cota - SGB Batimetria (m)	Area (km2)	Volume (hm3)
138,33	134,21	134,21	1,691	5,002
138,32	134,20	134,20	1,689	4,985
138,31	134,19	134,19	1,688	4,968
138,30	134,18	134,18	1,686	4,951
138,29	134,17	134,17	1,684	4,934
138,28	134,16	134,16	1,683	4,917
138,27	134,15	134,15	1,681	4,901
138,26	134,14	134,14	1,679	4,884
138,25	134,13	134,13	1,678	4,867
138,24	134,12	134,12	1,676	4,850
138,23	134,11	134,11	1,674	4,833
138,22	134,10	134,10	1,673	4,817
138,21	134,09	134,09	1,671	4,800
138,20	134,08	134,08	1,669	4,783
138,19	134,07	134,07	1,668	4,767
138,18	134,06	134,06	1,666	4,750
138,17	134,05	134,05	1,664	4,733
138,16	134,04	134,04	1,663	4,717
138,15	134,03	134,03	1,661	4,700
138,14	134,02	134,02	1,659	4,683
138,13	134,01	134,01	1,658	4,667
138,12	134,00	134,00	1,656	4,650
138,11	133,99	133,99	1,654	4,634
138,10	133,98	133,98	1,652	4,617
138,09	133,97	133,97	1,651	4,601
138,08	133,96	133,96	1,649	4,584
138,07	133,95	133,95	1,647	4,568
138,06	133,94	133,94	1,646	4,551
138,05	133,93	133,93	1,644	4,535
138,04	133,92	133,92	1,643	4,518
138,03	133,91	133,91	1,641	4,502
138,02	133,90	133,90	1,639	4,486
138,01	133,89	133,89	1,637	4,469
138,00	133,88	133,88	1,636	4,453
137,99	133,87	133,87	1,634	4,436
137,98	133,86	133,86	1,632	4,420
137,97	133,85	133,85	1,631	4,404
137,96	133,84	133,84	1,629	4,387
137,95	133,83	133,83	1,627	4,371
137,94	133,82	133,82	1,625	4,355
137,93	133,81	133,81	1,624	4,339
137,92	133,80	133,80	1,622	4,322

Cota de Operação LIGHT (m)	Cota - SGB LIGHT	Cota - SGB Batimetria (m)	Area (km2)	Volume (hm3)
137,91	133,79	133,79	1,620	4,306
137,90	133,78	133,78	1,618	4,290
137,89	133,77	133,77	1,617	4,274
137,88	133,76	133,76	1,615	4,258
137,87	133,75	133,75	1,613	4,242
137,86	133,74	133,74	1,611	4,225
137,85	133,73	133,73	1,609	4,209
137,84	133,72	133,72	1,607	4,193
137,83	133,71	133,71	1,605	4,177
137,82	133,70	133,70	1,603	4,161
137,81	133,69	133,69	1,601	4,145
137,80	133,68	133,68	1,599	4,129
137,79	133,67	133,67	1,598	4,113
137,78	133,66	133,66	1,596	4,097
137,77	133,65	133,65	1,594	4,081
137,76	133,64	133,64	1,592	4,065
137,75	133,63	133,63	1,590	4,049
137,74	133,62	133,62	1,588	4,034
137,73	133,61	133,61	1,587	4,018
137,72	133,60	133,60	1,585	4,002
137,71	133,59	133,59	1,583	3,986
137,70	133,58	133,58	1,581	3,970
137,69	133,57	133,57	1,579	3,954
137,68	133,56	133,56	1,577	3,939
137,67	133,55	133,55	1,575	3,923
137,66	133,54	133,54	1,574	3,907
137,65	133,53	133,53	1,572	3,891
137,64	133,52	133,52	1,570	3,876
137,63	133,51	133,51	1,568	3,860
137,62	133,50	133,50	1,566	3,844
137,61	133,49	133,49	1,564	3,829
137,60	133,48	133,48	1,562	3,813
137,59	133,47	133,47	1,561	3,797
137,58	133,46	133,46	1,559	3,782
137,57	133,45	133,45	1,557	3,766
137,56	133,44	133,44	1,555	3,751
137,55	133,43	133,43	1,553	3,735
137,54	133,42	133,42	1,551	3,720
137,53	133,41	133,41	1,549	3,704
137,52	133,40	133,40	1,547	3,689
137,51	133,39	133,39	1,545	3,673
137,50	133,38	133,38	1,543	3,658

Cota de Operação LIGHT (m)	Cota - SGB LIGHT	Cota - SGB Batimetria (m)	Area (km2)	Volume (hm3)
137,49	133,37	133,37	1,541	3,642
137,48	133,36	133,36	1,539	3,627
137,47	133,35	133,35	1,538	3,612
137,46	133,34	133,34	1,536	3,596
137,45	133,33	133,33	1,534	3,581
137,44	133,32	133,32	1,532	3,566
137,43	133,31	133,31	1,530	3,550
137,42	133,30	133,30	1,528	3,535
137,41	133,29	133,29	1,526	3,520
137,40	133,28	133,28	1,524	3,504
137,39	133,27	133,27	1,522	3,489
137,38	133,26	133,26	1,520	3,474
137,37	133,25	133,25	1,518	3,459
137,36	133,24	133,24	1,516	3,444
137,35	133,23	133,23	1,514	3,428
137,34	133,22	133,22	1,512	3,413
137,33	133,21	133,21	1,510	3,398
137,32	133,20	133,20	1,508	3,383
137,31	133,19	133,19	1,506	3,368
137,30	133,18	133,18	1,504	3,353
137,29	133,17	133,17	1,502	3,338
137,28	133,16	133,16	1,500	3,323
137,27	133,15	133,15	1,498	3,308
137,26	133,14	133,14	1,496	3,293
137,25	133,13	133,13	1,494	3,278
137,24	133,12	133,12	1,492	3,263
137,23	133,11	133,11	1,490	3,248
137,22	133,10	133,10	1,487	3,233
137,21	133,09	133,09	1,485	3,218
137,20	133,08	133,08	1,483	3,204
137,19	133,07	133,07	1,480	3,189
137,18	133,06	133,06	1,478	3,174
137,17	133,05	133,05	1,476	3,159
137,16	133,04	133,04	1,473	3,144
137,15	133,03	133,03	1,471	3,130
137,14	133,02	133,02	1,469	3,115
137,13	133,01	133,01	1,466	3,100
137,12	133,00	133,00	1,464	3,086
136,62	132,50	132,50	1,311	2,389
136,12	132,00	132,00	1,111	1,784
135,62	131,50	131,50	0,898	1,282
135,12	131,00	131,00	0,676	0,886

Cota de Operação LIGHT (m)	Cota - SGB LIGHT	Cota - SGB Batimetria (m)	Area (km2)	Volume (hm3)
134,62	130,50	130,50	0,469	0,605
134,12	130,00	130,00	0,335	0,406
133,62	129,50	129,50	0,239	0,264
133,12	129,00	129,00	0,159	0,167
132,62	128,50	128,50	0,117	0,099
132,12	128,00	128,00	0,075	0,051
131,62	127,50	127,50	0,040	0,023
131,12	127,00	127,00	0,017	0,010
130,62	126,50	126,50	0,008	0,004
130,12	126,00	126,00	0,003	0,001
129,62	125,50	125,50	0,001	0,000
129,12	125,00	125,00	0,000	0,000
128,62	124,50	124,50	0,000	0,000
128,12	124,00	124,00	0,000	0,000
127,62	123,50	123,50	0,000	0,000
127,12	123,00	123,00	0,000	0,000
126,62	122,50	122,50	0,000	0,000

### UHE Ilha dos Pombos - Curva Cota x Área x Volume

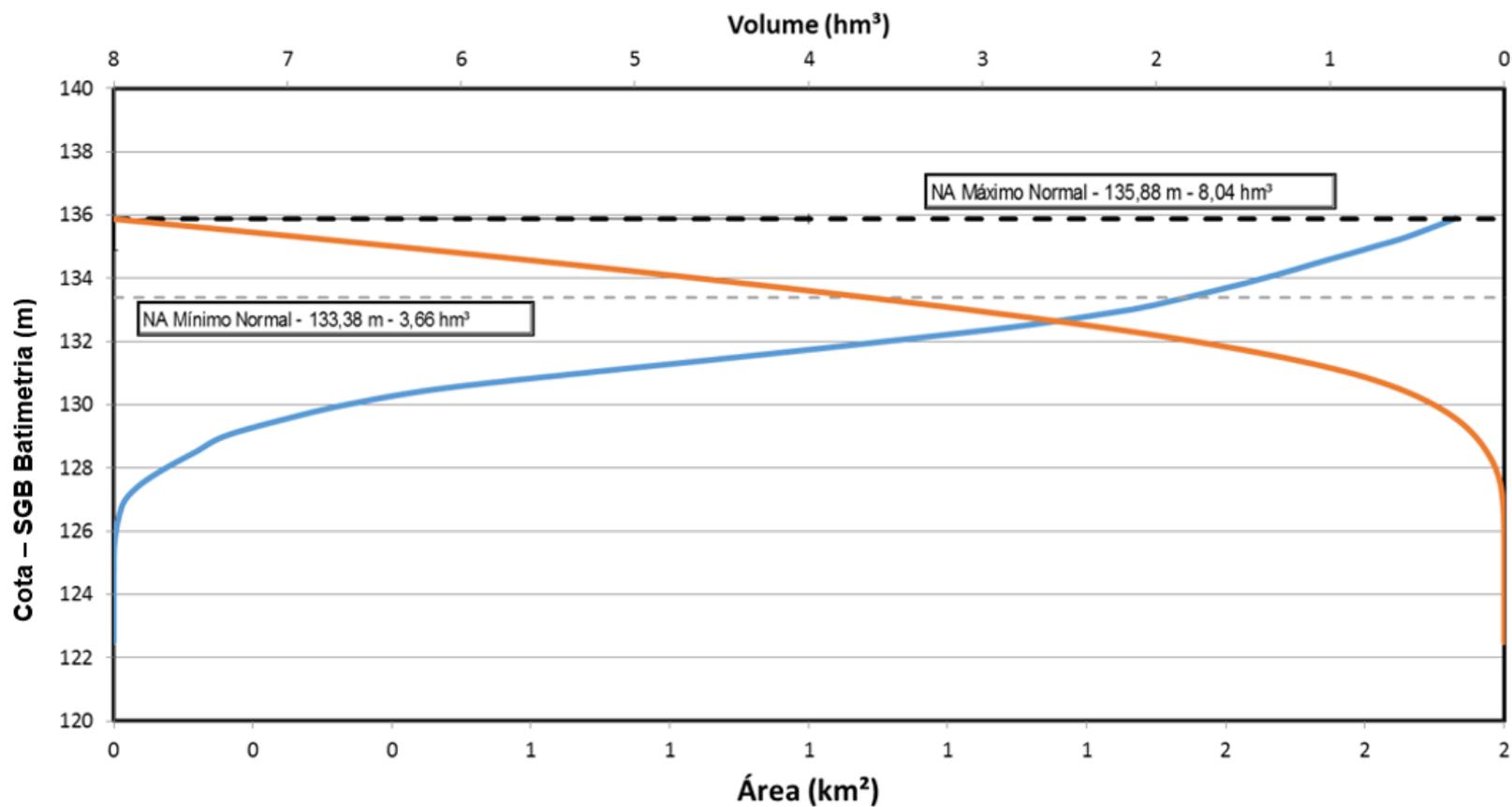


Figura 8-5 – Curvas CxAxV

### 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 (seções batimétricas) medidas no corpo principal do reservatório, de acordo com as exigências da ANA, deveria seguir a formulação proposta:

$$E_{ST} = \frac{0,35 \times A^{0,35}}{D} = \frac{0,35 \times 426^{0,35}}{6,47} = 0,45 \text{ km}$$

Porém, para o levantamento batimétrico do reservatório da UHE Ilha de dos Pombos foi utilizado o método de seções transversais considerando espaçamento entre as seções de no máximo 30 metros, além da execução de linhas longitudinais centrais e linhas margeando o reservatório. Assim, os levantamentos para a determinação das curvas CAV atingiram resultados com grau de incertezas bem menores que os especificados na Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010.

### 8.2.5 Comparação com a Curva Antiga

Para comparar a nova curva Cota x Área x Volume com curva antiga, foi elaborado o Quadro 8-2. Os volumes indicados nesse quadro foram obtidos a partir do polinômio utilizado na operação da usina.

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

Interesse	Cota SGB Batimetria (m)	Cota de Operação LIGHT (m)	Volume (hm <sup>3</sup> )	
			Curva antiga	Curva nova
Mínimo Normal	133,38	137,50	2,55	3,65
Máximo Normal	135,88	140,00	7,87	8,03
Máximo Máximorum	135,88	140,00	7,87	8,03

Essa comparação mostra que o volume do reservatório da UHE Ilha dos Pombos no seu nível máximo maximorum, medido atualmente, é maior do que aquele indicado pela curva CAV existente, em uma magnitude da ordem de 2,1%.

### 8.3 Cartas Topobatimétricas

Após a elaboração do MDT final, foram geradas as curvas de nível e as cartas topobatimétricas em escala 1:2.000, que foram articuladas em folhas de tamanho A0. Esses desenhos elaborados estão apresentados no volume em meio digital, disponibilizado junto com o relatório final desse trabalho.

#### 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 Ilha dos Pombos, o monitoramento do aporte e sedimentação de sólidos no reservatório será feito por meio de medição sistemática de profundidades do leito do rio Paraíba do Sul e seu contribuinte em 2 conjuntos de 3 seções topobatimétricas cada, levantadas perpendicularmente ao fluxo.

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.

Os perfis elaborados estão apresentados no volume em meio digital, disponibilizado junto a este relatório.

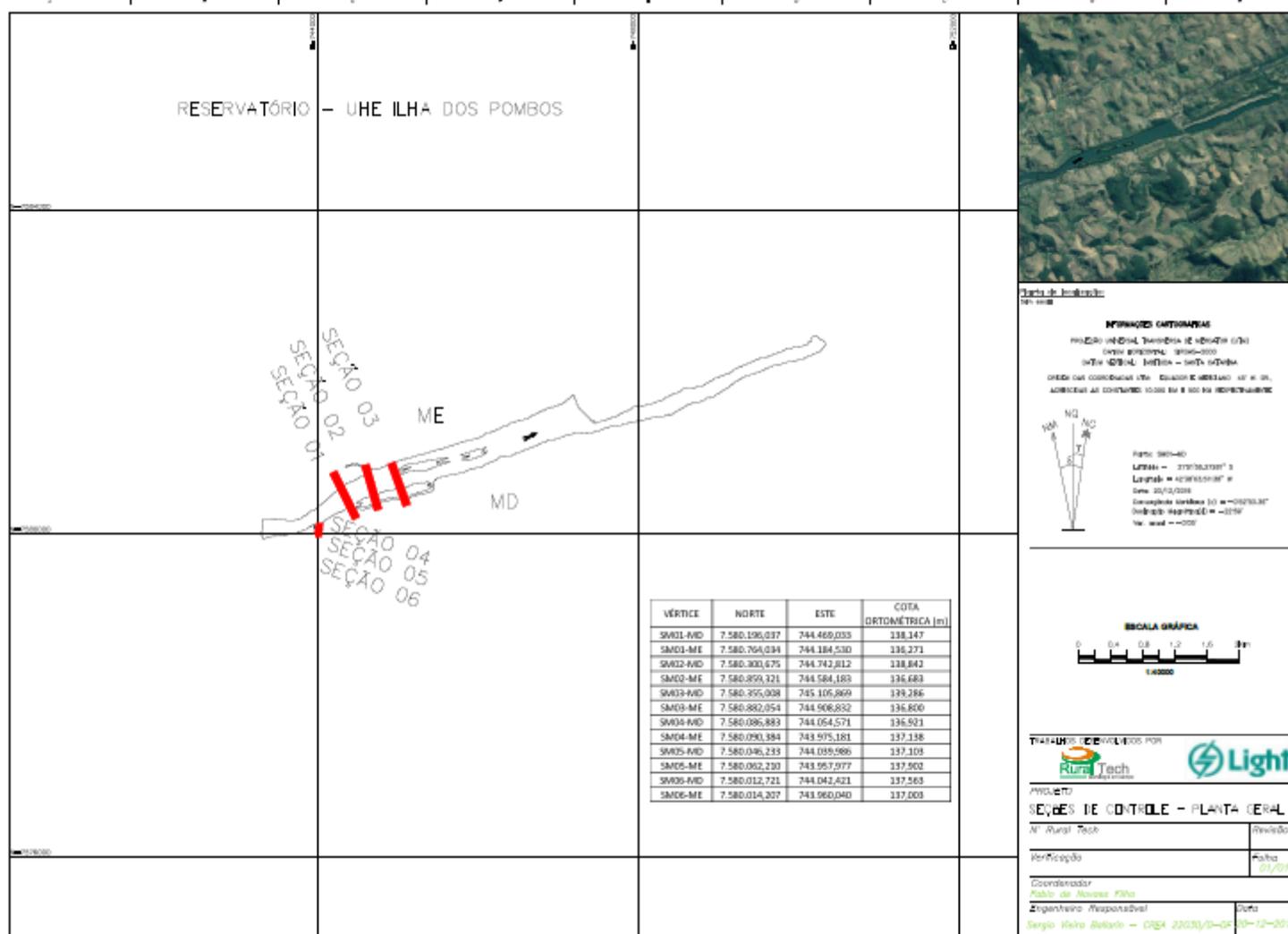


Figura 8-6 – Seções de Monitoramento de Deposição de Sedimentos

## 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 Light Energia, ANA, ANEEL, ONS, ou outras entidades.

Os levantamentos de campo executados, notadamente o levantamento batimétrico através da tecnologia monofeixe, excederam os requisitos mínimos da resolução conjunta, uma vez que, a metodologia de levantamento de seções topobatimétricas, mais adensadas, espaçadas com equidistância menores ao especificado pela Agência Nacional de Água – ANA, permitiu minimizar consideravelmente 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 validação do MapGeo 2010 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.