

**Atualização da Curva Cota x Área x Volume em  
atendimento à Resolução Conjunta ANA ANEEL  
nº 03/2010 da UHE Salto Pilão**



Porto Alegre, outubro 2021

## QUADRO DE CODIFICAÇÃO

Código do Documento		SP-18010-RA-CAV-R4	
Título		Atualização da Curva Cota x Área x Volume em atendimento à Resolução Conjunta ANA ANEEL nº 03/2010 da UHE Salto Pilão	
Aprovação Inicial por:		Lawson Beltrame	
Data da Aprovação Inicial:		23/12/2019	
Controle de Revisões			
Revisão Nº	Natureza	Data	Aprovação
00	Emissão Inicial	23/12/2019	LB
01	Revisão 01	28/08/2020	LB
02	Revisão 02	05/11/2020	LB
03	Revisão 03	09/12/2020	LB
04	Revisão 04	15/10/2021	Alceu Correa

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>MÉTODOS</b>	<b>7</b>
3.1	CLASSIFICAÇÃO DO RESERVATÓRIO QUANTO AO POTENCIAL DE ASSOREAMENTO	7
3.1.1	POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO EMPREENDIMENTO HIDRELÉTRICO (PSS)	8
3.1.2	POSIÇÃO DO RESERVATÓRIO NA CASCATA (PRC)	8
3.1.3	REGIME DE OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO (ROR)	9
3.1.4	MAGNITUDE E IMPORTÂNCIA DOS EFEITOS DE ASSOREAMENTO (MI)	9
3.1.5	NÍVEL DE CRITICIDADE	10
3.1.6	CLASSIFICAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS QUANDO À DISPONIBILIDADE DE DOCUMENTAÇÃO CARTOGRÁFICA	10
3.2	EXECUÇÃO DO SERVIÇO.	12
3.2.1	IMPLANTAÇÃO DA REDE DE VÉRTICES GEODÉSICOS (RVG) E/OU CONTROLE DA QUALIDADE DA RVG PRÉ-EXISTENTE	12
3.2.2	ELABORAÇÃO DO MODELO GEOIDAL LOCAL (MGL)	12
3.2.3	CONTROLE DE QUALIDADE DA BASE CARTOGRÁFICA DE PROJETO	16
3.2.4	MAPEAMENTO DA ÁREA MOLHADA DO RESERVATÓRIO	17
3.2.5	IMPLANTAÇÃO DAS SEÇÕES DE CONTROLE: LOCALIZAÇÃO E QUANTIDADE	20
3.2.6	MODELO DIGITAL DO RESERVATÓRIO E CURVA COTA X ÁREA X VOLUME	25
<b>4</b>	<b>MATERIAIS</b>	<b>25</b>
4.1	RASTREIOS COM RECEPTORES GNSS	25
4.2	MAPEAMENTO DA ÁREA MOLHADA DO RESERVATÓRIO	25
4.3	PROCESSAMENTO DOS DADOS	26
<b>5</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>27</b>
5.1	DESVIO VERTICAL SISTEMA LOCAL X SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO	27
5.2	MODELO DIGITAL DO RESERVATÓRIO E CURVA COTA X ÁREA X VOLUME	27
5.3	COMPARAÇÃO DADOS DE PROJETO	33

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localização das estruturas da UHE Salto Pilão.....	6
Figura 2. RN 1408L – RN deslocada .....	13
Figura 3. RN 1408L - Aérea.....	13
Figura 4. RN 1408L – Placa de identificação .....	13
Figura 5. RN 1402E – Placa de identificação.....	13
Figura 6. RN 1402E – Haste posicionada.....	13
Figura 7. RN 1402E – Aérea.....	13
Figura 8. RN 1403C – Placa de identificação.....	14
Figura 9. RN 1403C – Local de instalação .....	14
Figura 10. RN 1403C – Aérea.....	14
Figura 11. RN 1403C – Ponto rastreado .....	14
Figura 12. RN 1403C – Detalhe da haste.....	14
Figura 13. RN 1403C – Visada ao piquete .....	14
Figura 14. RN 1403C – Nivelamento ET .....	15
Figura 15. RN 1403C – Visada a RN.....	15
Figura 16. RN 1403F – Placa de identificação .....	15
Figura 17. RN 1403F - Aérea.....	15
Figura 18. RN 1403F – Ocupação.....	15
Figura 19. RN 1403M – Placa de identificação .....	15
Figura 20. RN 1403M - Aérea.....	16
Figura 21. RN 1403M – Ocupação piquete.....	16
Figura 22. RN 1403M – Visada ao piquete .....	16
Figura 23. RN 1403M – Visada a RN.....	16
Figura 24. Registro fotográfico; bastão extensor e receptor GNSS .....	18
Figura 25. Seções de controle hidráulico .....	19
Figura 26. Levantamento batimétrico.....	20
Figura 27. Localização das seções de controle instaladas .....	22
Figura 28. Seção de controle 1 .....	23
Figura 29. Seção de controle 2 .....	23
Figura 30. Seção de controle 3 .....	23
Figura 31. Seção de controle 4 .....	23
Figura 32. Seção de controle 5 .....	23
Figura 33. Seção de controle 6 .....	23
Figura 34. Seção de controle 01 .....	24
Figura 35. Seção de controle 02 .....	24
Figura 36. Seção de controle 03 .....	24
Figura 37. Seção de controle 04 .....	24
Figura 38. Seção de controle 05 .....	24
Figura 39. Seção de controle 06 .....	24
Figura 40. Diferença levantamento hidrográfico x modelo.....	28
Figura 41. Modelo UHE Salto Pilão .....	29
Figura 42. Curva Cota x Área .....	30
Figura 43. Curva Cota x Volume .....	30
Figura 44. Comparação curvas de projeto x curvas atualizadas .....	34

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Enquadramento do reservatório quanto a sua tipologia.....	7
Tabela 2. Características da UHE Salto Pilão.....	8
Tabela 3. Produtos referentes ao reservatório da UHE Salto Pilão conforme as Orientações para a atualização das curvas cota x área e cota x volume – ANA/ANEEL 2010 .....	10



<i>Tabela 4. Discrepância ondulação geoidal MAPGEO2015 x SGB .....</i>	<i>16</i>
<i>Tabela 5. Oscilação dos níveis do reservatório durante o levantamento hidrográfico.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabela 6. Descrição das seções de controle implantadas.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 12. Desvio vertical Sistema local x SGB.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabela 7. Controle de qualidade do modelo digital de terreno .....</i>	<i>28</i>
<i>Tabela 8. Relação Cota x Área x Volume SGB.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabela 9. Funções polinomiais de 4º ordem – Área e Volume.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabela 10. Desvios relativos função cota x área SGB .....</i>	<i>32</i>
<i>Tabela 11. Desvios relativos função cota x volume .....</i>	<i>32</i>
<i>Tabela 13. Comparação informações projeto x atualizadas .....</i>	<i>33</i>
<i>Tabela 14. Curvas Cota x Área x Volume de projeto .....</i>	<i>33</i>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo o Art. 8º da Resolução Conjunta ANA ANEEL nº 03, de 10 de agosto de 2010, os concessionários e autorizados de geração de energia hidrelétrica são orientados a realizar a avaliação do processo de erosão ou assoreamento dos reservatórios, com base na atualização das curvas Cota x Área x Volume das usinas despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS. Os estudos contidos neste relatório são norteados pelas especificações técnicas estabelecidas por essas agências reguladoras.

O Consorcio Empresarial Salto Pilão inscrito no CNPJ sob o nº 04.955.586/0001-07, detentora da concessão da UHE Salto Pilão, juntamente com a empresa Água e Solo Estudos e Projetos Ltda. inscrita no CNPJ sob o nº 02.563.448/0001-49, executora do presente estudo, apresenta o Relatório de Atualização das Curvas Cota x Área x Volume da UHE Salto Pilão.

O Relatório consiste dos seguintes itens:

- Introdução;
- Caracterização da Área de Estudo;
- Métodos;
- Materiais; e
- Resultados.

Juntamente com o relatório, acompanham os seguintes anexos:

- Anexo 1: Levantamento hidrográfico;
- Anexo 2: Rede de vértices geodésico;
- Anexo 3: Peças Gráficas;
- Anexo 4: Arquivos ASCII;
- Anexo 5: Acervo Fotográfico;
- Anexo 6: Geodatabase;
- Anexo 7: Peças Gráficas;
- Anexo 8: Estruturas Hidráulicas;
- Anexo 9: Seções de Controle;
- Anexo 10: Comparação CAV e;
- Anexo 11: Ofício ANA.

## 2 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

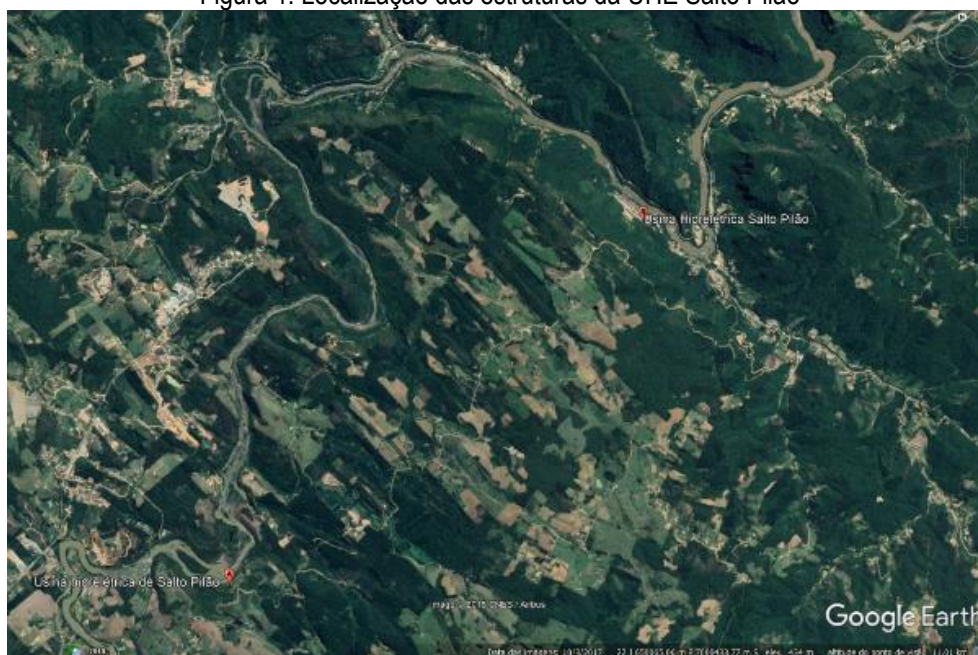
A UHE Salto Pilão, cuja concessão está sob a responsabilidade do Consórcio Empresarial Salto Pilão – CESAP, foi implantada em um trecho do rio Itajaí-Açu, abrangendo áreas dos municípios de Apiúna, Ibirama e Lontres, no estado de Santa Catarina. O local de implantação do empreendimento está a cerca de 170 km da foz do rio Itajaí-Açu e 220 km de Florianópolis.

O empreendimento é constituído por uma usina hidrelétrica com potência instalada de 191,9 MW, que utiliza uma queda bruta de cerca de 200 m. Seu reservatório não tem a função de armazenamento de água para a regularização de vazões, o que o caracteriza como “a fio d’água”. A área total do reservatório, incluindo o leito ordinário do rio, corresponde a aproximadamente 0,15 km<sup>2</sup> em seu nível máximo normal de operação, na cota 319 m.

As principais estruturas que compõem o empreendimento estão apresentadas na Figura 1 e descritas abaixo:

- **Barramento** – Com um comprimento de 209,0 m, seu barramento é de concreto e possui uma altura de 3,0 m;
- **Vertedouro** – De soleira livre, cuja ombreira esquerda está situada no município de Ibirama e a obreira direita está situada no município de Lontres, onde estão localizadas também as estruturas da tomada d’água;
- **Túnel adutor** – Possui cerca de 6.700 m de extensão, a partir da tomada d’água até as estruturas de geração;
- **Casa de força subterrânea** – Localizada no município de Apiúna, na localidade de Subida da Ressacada, e o canal de fuga que restituirá a água turbinada ao rio Itajaí-Açu a jusante da confluência do rio Hercílio, a cerca de 500 m a montante da ponte em arco que dá acesso a localidade de Subida.

Figura 1. Localização das estruturas da UHE Salto Pilão



### 3 MÉTODOS

Os serviços de campo, assim como o processamento dos dados desenvolvido no escritório foram realizados em consonância com as orientações técnicas para atualização das curvas cota x área x volume (CAV) conforme documento orientativo denominado “Orientações para atualização das curvas cota x área x volume, ANA, 2013”.

#### 3.1 Classificação do Reservatório quanto ao Potencial de Assoreamento

O planejamento e execuções dos trabalhos de campo e escritório dependem de um enquadramento do empreendimento. Tal enquadramento é função da disponibilidade da documentação cartográfica existente e do nível de criticidade (NC) do reservatório. O NC mensura o impacto das externalidades ao volume do reservatório, é um índice que varia de 0 a 1 e é função do potencial de produção de sedimentos da bacia, posição relativa do empreendimento na cascata de reservatórios e da magnitude e importância dos efeitos de assoreamento para o setor elétrico e para os outros usos dado ao reservatório. Avaliado estes parâmetros, a Equação 1 mensura o NC, o qual será enquadrado através descrição a seguir.

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

Equação 1. Nível de criticidade (NC)

Onde:

NC – Nível de criticidade;  
Pss – Potencial de produção de sedimentos;  
Prc – Posição do reservatório na cascata;  
Ror – Regime de operação do reservatório;  
MI – Magnitude e importância dos efeitos do assoreamento;

- **Classe 1** – Nível de Criticidade Alto ( $NC > 0,75$ ): Reservatório onde há risco de assoreamento e onde esse processo pode trazer efeitos negativos a geração de energia ou a outros usos da água.
- **Classe 2** – Nível de Criticidade Médio ( $0,50 \leq NC \leq 0,75$ ): Reservatório onde o risco de assoreamento é menor ou onde os efeitos esperados não são tão importantes.
- **Classe 3** – Nível de Criticidade Baixo ( $NC < 0,5$ ): Reservatório situado em bacias hidrográficas com pouca produção de sedimento, onde o risco de assoreamento é muito baixo.

Após mensurado o NC e estabelecida a documentação cartográfica existente o reservatório é enquadrado conforme Tabela 1.

Tabela 1. Enquadramento do reservatório quanto a sua tipologia

Tipologia dos reservatórios			
Classes de Criticidade	Cenário Cartográfico		
	1	2	3
Classe 1	A	B	C
Classe 2	A	B1	C
Classe 3	A	B2	C

Fonte: ANA (2013)

Enquadrado, pode-se consultar o documento “Orientações para a atualização das curvas Cota x Área x Volume” e verificar quais ações devem ser executadas.

Com isso pôde-se determinar, conforme os itens a seguir, a classificação do empreendimento, chegando-se a conclusão de que o reservatório da UHE Salto Pilão se enquadra no tipo **C**. Os reservatórios classificados como tipo C são aqueles que não possuem base cartográfica de projeto com PEC B e/ou levantamentos batimétricos preexistentes.

### 3.1.1 Potencial de produção de sedimentos da bacia hidrográfica do empreendimento hidrelétrico (Pss)

Neste parâmetro, o enquadramento se deu através do conhecimento histórico das medições de descarga sólida disponíveis na bacia hidrográfica. Para tanto, foram utilizados os dados da Estação Salto Pilão Montante, pertencente ao CESAP cujas principais informações são descritas na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2. Características da UHE Salto Pilão

Parâmetro	Valor
Nome da Estação	UHE Salto Pilão Montante
Responsável / Operadora	CESAP
Coordenadas	27°8'58.90"S e 49°31'58.60"O
Área de drenagem [km²]	5.377,00
Período de dados	2015 - 2019
Número de medições de descarga líquida / descarga sólida	61
Potencial de produção de sedimento [ton/km²/ano]	373

Conforme a classificação ilustrada abaixo o potencial de produção de sedimentos da bacia foi classificado como sendo de Alto Potencial (3).

- **Pss < 25 ton/km².ano** – Baixo Potencial (1);
- **Pss entre 25 e 100 ton/km².ano** – Médio Potencial (2);
- **Pss > 100 ton/km².ano** – Alto Potencial (3);

### 3.1.2 Posição do reservatório na cascata (Prc)

Parâmetro de extrema importância para avaliar a vulnerabilidade do reservatório ao assoreamento, a posição relativa do reservatório na cascata ilustra o quão exposto e suscetível está o empreendimento a produção de sedimentos da bacia hidrográfica. Com uma área incremental de 5.440 km² a UHE Salto Pilão é o único empreendimento instalado no rio Itajaí- Açu, podendo considerá-lo como reservatório de cabeceira. Deste modo, classificou-se o reservatório, conforme exposto abaixo, como o sendo de Alta Suscetibilidade (3).

- **Reservatórios de jusante com pequena bacia incremental** – Baixa Suscetibilidade ao Assoreamento (1);
- **Reservatório de jusante com grande bacia incremental** – Média Suscetibilidade ao Assoreamento (2);
- **Reservatório de cabeceira** – Alta Suscetibilidade ao Assoreamento (3);

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

Segundo as orientações “Os reservatórios de regularização proporcionam benefícios à geração de energia local e de outros aproveitamentos situados a jusante, além de beneficiar também outros usos potenciais da água. O assoreamento de seu volume útil acarreta na perda de capacidade de regularização, com perda de energia local e na cascata. Já os reservatórios operados a fio d’água, mesmo que não utilizem diretamente o seu volume armazenado, podem ser afetados pelo assoreamento por meio da elevação de níveis de remanso a montante por exemplo.” Assim, para avaliar tal suscetibilidade, calculou-se através da Equação 2 o regime de operação da usina.

$$IR = \frac{V_{\text{útil}}}{Qt_{\text{med}}} \quad \text{Equação 2. Índice de regime de operação do reservatório}$$

Onde:

IR – Índice de operação [dias];

V<sub>útil</sub> – Volume útil do reservatório [m<sup>3</sup>];

Qt<sub>med</sub> – Vazão turbinada média [m<sup>3</sup>/dia];

Com um volume útil de projeto estimado em 152.000 m<sup>3</sup> e vazão turbinada média de 70 m<sup>3</sup>/s, chegou-se ao valor de tempo de residência de poucas horas (0,6 h). Com isso, enquadrou-se como Baixa Suscetibilidade (1) conforme classificação abaixo.

- **IR < 30 dias** – Baixa Suscetibilidade (1);
- **IR entre 30 e 150 dias** – Média Suscetibilidade (2);
- **IR maior que 150 dias** – Alta Suscetibilidade (3);

### 3.1.4 Magnitude e Importância dos Efeitos de Assoreamento (MI)

Este parâmetro ilustra a relevância e magnitude das externalidades em caso de assoreamento do reservatório. Sua mensuração é de extrema importância pois ele avalia não somente o empreendimento em si, mas também a ocupação do entorno do reservatório e outros possíveis impactos devido a interrupção da sua disponibilidade hídrica. Sua classificação é dada da seguinte forma:

- **Alta Externalidade (3)** – Reservatórios nos quais pelo menos um dos parâmetros anteriores, (Pss) e (Pcr), seja considerado 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;
- **Média Externalidade (2)** – 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;
- **Baixa Externalidade (1)** – Demais reservatórios;

Como mais de um parâmetro foi classificado como Alto Potencial, classificou-se assim como Alta Externalidade (3).



### 3.1.5 Nível de Criticidade

Após a classificação e mensuração dos parâmetros expostos, calculou-se através da Equação 1 o NC, obteve-se assim o valor de **N<sub>c</sub> = 0,62** enquadrando a UHE Salto Pilão como Classe 2 (Criticidade Média).

### 3.1.6 Classificação dos Reservatórios quando à Disponibilidade de Documentação Cartográfica

Para a classificação do reservatório quanto à disponibilidade de documentação cartográfica, as orientações propõem três cenários distintos e expostos abaixo.

**Cenário 01** - Não possui nenhum material cartográfico de Projeto, mapeamento da área seca e batimétrica da área do reservatório.

**Cenário 02** - Possui material cartográfico de Projeto e/ou levantamentos batimétricos, e possui mapeamento da área seca em escala 1:10.000 ou superior oriundo de recobrimento aerofotogramétrico aprovado no controle de qualidade definido neste documento.

**Cenário 03** - Não possui material cartográfico de Projeto, mas possui mapeamento da área seca em escala 1:10.000 ou superior oriundo de recobrimento aerofotogramétrico aprovado no controle de qualidade definido neste documento.

Para fins da classificação, embora a UHE Salto Pilão disponha de material cartográfico equivalente ao Cenário 2, propôs-se a execução do levantamento batimétrico enquanto nível do reservatório estivesse em vertimento de modo a garantir o mapeamento de toda a área molhada do reservatório. Esta proposição é viável em virtude de o empreendimento operar a fio d'água, não sendo possível ao reservatório o armazenamento de água acima da soleira do vertedouro. Assim, apesar da existência do material cartográfico de projeto, como estes não serão aplicados nesse trabalho, o empreendimento é enquadrado no Cenário 3.

Definido o Cenário quanto a classificação da disponibilidade de documentação cartográfica e o NC do reservatório, consultou-se a classificação apresentada nas Orientações técnicas disponibilizadas pela ANA / ANEEL a qual enquadra o empreendimento como sendo do tipo C. Abaixo, na Tabela 3, é apresentado os produtos a serem entregues referente ao enquadramento tipo C.

Tabela 3. Produtos referentes ao reservatório da UHE Salto Pilão conforme as Orientações para a atualização das curvas cota x área e cota x volume – ANA/ANEEL 2010

Reservatório Tipo	Situação	Ações a Serem Realizadas
C	Não possui Base Cartográfica de Projeto e/ou Levantamentos Batimétricos Preexistentes. Possui Mapeamento da área seca do reservatório, em escala 1:10.000 ou superior, oriundo de recobrimento aeroespacial aprovado no CQ. (Cenário 03).	1. Implantar RVG.
		2. Elaborar um MGL / Validar MapGeo 2010/2015.
		3. Realizar o CQ planialtimétrico da restituição, dos mapas vetores e/ou das ortofotos devendo o material apresentar no mínimo PECD Classe B.
		<b>Não aplicável</b>
		4. Executar o levantamento batimétrico considerando o número total de linhas de sondagem indicadas pela

Reservatório Tipo	Situação	Ações a Serem Realizadas
	No que se refere ao aporte de sedimentos aos reservatórios é classificado como Classe 1, 2 ou 3.	<p>fórmula presente no item 3.4.7, sendo posicionadas preferencialmente na parte superior do corpo do reservatório.</p> <p>5. Implantar, conforme especificado no item 3.2, as seções topobatimétricas de controle para o monitoramento do carreamento de sedimentos para os reservatórios. Estas deverão ser monitoradas a cada três anos.</p> <p>6. Efetuar análise das campanhas de monitoramento.</p> <p>7. A partir da análise do histórico de sedimentação, será definida a necessidade de realização de uma batimetria completa do reservatório.</p>



### 3.2 Execução do Serviço.

Após a classificação do reservatório, observou-se conforme exposto na Tabela 3 as ações a serem desempenhadas e os produtos a serem entregues, os quais serão descritos abaixo.

#### 3.2.1 Implantação da Rede de Vértices Geodésicos (RVG) e/ou Controle da Qualidade da RVG Pré-Existente

A RVG se caracteriza na rede de apoio básico, a qual serve de base para o georreferenciamento das seções batimétricas. No presente trabalho foram implantados 5 novos marcos que constituem a nova RVG na região do reservatório. Para a determinação de suas informações geográficas, foram realizados através de receptores GNSS, um duplo rastreo de duas horas cada com duas distintas alturas de antena.

Para o ajustamento da rede, utilizou-se o processamento por posicionamento por ponto preciso (PPP) do IBGE. Para os novos vértices, são disponibilizados no Anexo 2 os dados brutos, relatórios de processamentos e as monografias das RRNN implantadas.

A altitude ortométrica dos marcos implantados foi obtida utilizando o modelo de ondulação geoidal MAPGEO2015. A metodologia para a validação do MAPGEO2015 é explicada no subcapítulo 3.2.2.

#### 3.2.2 Elaboração do Modelo Geoidal Local (MGL)

Conforme apresentado no plano de trabalho aprovado pela Agência, avaliou-se de maneira qualitativa que o modelo geoidal MAPGEO2010 não atendia a precisão mínima exigida nas orientações.

Com uma nova versão disponibilizada pelo IBGE, antes da elaboração de um modelo geoidal local, avaliou-se a discrepância do MAPGEO2015. Para isso, buscou-se as referências de nível da rede altimétrica do IBGE próxima a área do empreendimento. Encontraram-se 5 RRNN em boas condições, cujas distâncias variaram de 5,8 a 21 km do reservatório. Para a verificação da aderência do modelo de ondulação geoidal as RRNN, efetuou-se duplo rastreo com receptor GNSS com ocupação de duas horas cada a duas distintas alturas de antena. Após o processamento das informações pela ferramenta de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) do IBGE, obteve-se um resultado positivo, estando as discrepâncias dentro dos limites aceitos pela Agência.

Entretanto, a Agência através do ofício nº 270/2020/SGH/ANA questionou a qualidade das informações obtidas com os rastreios que validaram o modelo. Os dados disponibilizados foram reavaliados e a equipe técnica da Água e Solo concordou com os apontamentos feitos. Propôs-se então a realização de novos rastreios, visando uma reavaliação da discrepância do MAPGEO2015, os quais foram realizados entre os dias 23 e 24 de outubro de 2020 e tiveram ocupação mínima de 3 horas cada.

Registra-se que a RN 1408L, rastreada em 2019 e apresentada a Agência, foi encontrada deslocada de sua posição inicial e não pôde ser rastreada.

Conforme informado no documento enviado pela Água e Solo em resposta ao ofício nº 270/2020/SGH/ANA, as RRNN 1403C e 1403M foram rastreadas em piquetes implantados

próximos ao local de instalação da RN em virtude da posição que elas se encontravam. Após o rastreio, fez-se um nivelamento geométrico obtendo assim a altitude no ponto de interesse. Abaixo é ilustrado o registro fotográfico das atividades executadas, procedidas da Tabela 4 que apresenta os resultados obtidos e a comparação de altitudes.

Figura 2. RN 1408L – RN deslocada



Figura 3. RN 1408L - Aérea



Figura 4. RN 1408L – Placa de identificação



Figura 5. RN 1402E – Placa de identificação



Figura 6. RN 1402E – Haste posicionada



Figura 7. RN 1402E – Aérea

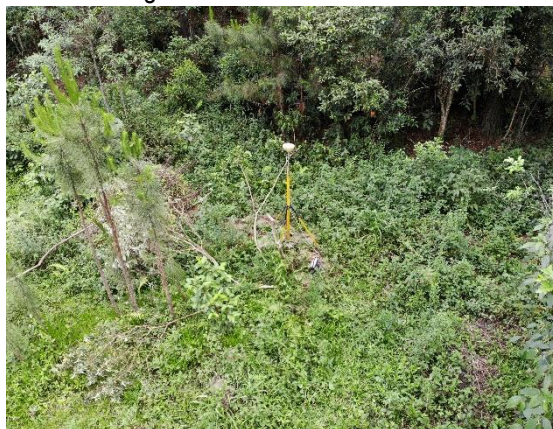




Figura 8. RN 1403C – Placa de identificação



Figura 9. RN 1403C – Local de instalação



Figura 10. RN 1403C – Aérea



Figura 11. RN 1403C – Ponto rastreado



Figura 12. RN 1403C – Detalhe da haste



Figura 13. RN 1403C – Visada ao piquete





Figura 14. RN 1403C – Nivelamento ET



Figura 15. RN 1403C – Visada a RN



Figura 16. RN 1403F – Placa de identificação



Figura 17. RN 1403F - Aérea



Figura 18. RN 1403F – Ocupação



Figura 19. RN 1403M – Placa de identificação

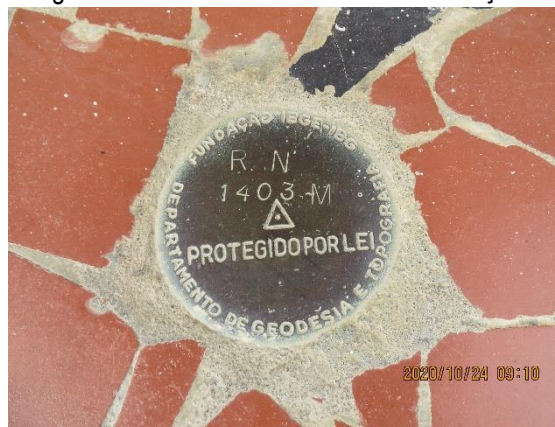




Figura 20. RN 1403M - Aérea



Figura 21. RN 1403M – Ocupação piquete



Figura 22. RN 1403M – Visada ao piquete



Figura 23. RN 1403M – Visada a RN



Tabela 4. Discrepância ondulação geoidal MAPGEO2015 x SGB

Nome	Este	Norte	Hfdes (m)	Hobservado (m)	Discrepância (m)
RN1402E	641901.332	6993962.912	345,431	345,642	-0,21
RN1403C	634605.009	6989011.202	341,209	341,412	-0,20
RN1403F	632771.751	6988342.085	339,666	339,830	-0,16
RN1403M	629584.776	6984834.786	339,061	339,235	-0,17
RN1408L	646896.229	7006298.281	151,255	-	-

Os resultados obtidos demonstram que os valores de discrepância ficaram, de modo geral, dentro do limite de  $|0,20|$  m. Assim, atendendo as Orientações para atualização das curvas cota x área x volume, da Agência Nacional de Águas (ANA), de dezembro de 2013, do item 3.4.2, pôde-se utilizar, na área de interesse, o modelo de ondulação geoidal MAPGEO2015 - IBGE.

Os arquivos brutos dos rastreios, relatórios de processamentos e planilhas de nivelamento estão disponíveis junto ao Anexo 3.

### 3.2.3 Controle de Qualidade da Base Cartográfica de Projeto

Em conformidade aos documentos disponíveis junto ao Anexo 11:

- Ofício nº 264/2019/SGH-ANA; que trata sobre a aprovação do plano de trabalho.

- Ofício nº 437/2020/SGH/ANA e sua respectiva resposta a Agência através do documento 18010-OF-2021-01 que tratam da utilização do material cartográfico proveniente do SIG de do Estado de Santa Catarina.
- Ofício nº 251/2021/SGH-ANA que trata do deferimento da utilização do material cartográfico proveniente do SIG do Estado de Santa Catarina; resume-se:

Após apresentação de documentação ilustrando que o material proveniente da base cartográfica do SIG<sup>1</sup> do Estado de Santa Catarina possui o padrão de exatidão cartográfica (PECD) dentro dos padrões de qualidade exigidos pelas orientações e do recebimento do deferimento de sua utilização no trabalho, pela Agência, utilizou-se o material cartográfico do SIG do Estado de Santa Catarina como material complementar ao levantamento batimétrico do reservatório da UHE Salto Pilão. A base cartográfica utilizada, em formato matricial e vetorial, está disponível junto ao Anexo 6.

### 3.2.4 Mapeamento da Área Molhada do Reservatório

O levantamento batimétrico do reservatório constituiu-se numa malha de pontos geodésicamente definidos (latitude e longitude) e com sua respectiva profundidade. A execução desta atividade foi efetuada por meio de ecobatímetro de feixe único (single beam). O trabalho foi efetivado por linhas regulares de sondagem (LS) equidistantes, dispostas de forma transversal e longitudinal as curvas isobatimétricas da área.

A equidistância entre as linhas de sondagem transversais (ou seções topobatimétricas), no corpo principal do reservatório, foi obtida pela seguinte fórmula:

$$E_{ST} = \frac{0,35A^{0,35}}{D}$$

Onde:

$E_{ST}$  = equidistância das seções topobatimétricas transversais [km];

A = área do reservatório em seu nível operacional normal, [ha] e

D = extensão do reservatório (corpo principal), em nível operacional normal [km]

Deste modo, embora o número total de seções deva ser igual a 2, conforme proposto no Plano de Trabalho, dado a incompatibilidade do cálculo previsto no documento com a magnitude do reservatório da UHE, foi adotado um **espaçamento de 50 m**, implicando no levantamento de **20 linhas de sondagem transversais**. Na prática, o espaçamento médio entre as linhas ficou menor do que o previsto resultando em uma distância média de 40 metros entre linhas.

Ainda, de acordo com o item 3.4.7, das orientações: “Com respeito à equidistância das linhas de sondagem longitudinais, tanto para UHE’s quanto para PCH’s, elas serão de 03 vezes as praticadas para as linhas de sondagem transversais, conforme região que se encontre no reservatório.” Assim, a equidistância das linhas de sondagem longitudinais foi de 75 m, implicando em **2 linhas de sondagem transversais** junto a região do barramento e **1 linha de sondagem transversal** junto a cada defluente existente a montante do barramento.

Com respeito ao levantamento propriamente dito, esse compreende duas componentes: o posicionamento planimétrico e altimétrico da embarcação e a mensuração da profundidade.

<sup>1</sup> Disponível em: sigsc.sc.gov.br/

Estava previsto no plano de trabalho a utilização de um DGPS para a determinação da posição da embarcação ao longo do reservatório e a implantação de duas réguas limnimétricas que fariam a determinação o nível d'água e altimetria do levantamento. Apesar disso, optou-se por utilizar um RTK para realizar o levantamento, utilizando como base a RVG implantada, o qual possui melhor precisão planialtimétrica.

Assim, o levantamento hidrográfico foi executado em tempo real com a utilização de um RTK modelo Geomax Zenith 15 apoiado por um rádio externo modelo PDL-HPB 450-470 MHZ e de um bastão de 8 metros de altura, Figura 24. Apesar de dispor de rádio externo, bastão extensor e da pequena extensão e largura do reservatório, não foi possível em campo fixar o sinal do RTK. Efetuou-se ao longo do levantamento a troca do local da base do RTK, entretanto não se obteve sucesso na fixação do sinal. Com dados de altimetria flutuantes e sem perspectiva de fixação do sinal, optou-se em escritório em não utilizar os dados de altimetria do RTK e ajustar o levantamento a altimetria da régua do barramento. Os níveis do reservatório observado durante o levantamento são apresentados na Tabela 5.

Figura 24. Registro fotográfico; bastão extensor e receptor GNSS



Tabela 5. Oscilação dos níveis do reservatório durante o levantamento hidrográfico

Data	Hora	Altitude ortométrica (m)
14/12/2019	08:00	318,94
14/12/2019	09:00	318,98
14/12/2019	11:00	319,04
14/12/2019	12:00	319,07
14/12/2019	13:00	319,06
14/12/2019	14:00	318,85
14/12/2019	15:00	318,89
08/12/2019	10:00	318,55
08/12/2019	11:00	318,64

Acreditamos que a utilização de somente uma régua para o ajuste da altimetria, neste caso específico, seria suficiente, dada as seções de controle hidráulico no barramento, vertedouro, e a montante conforme pode ser visto na Figura 25.



Figura 25. Seções de controle hidráulico

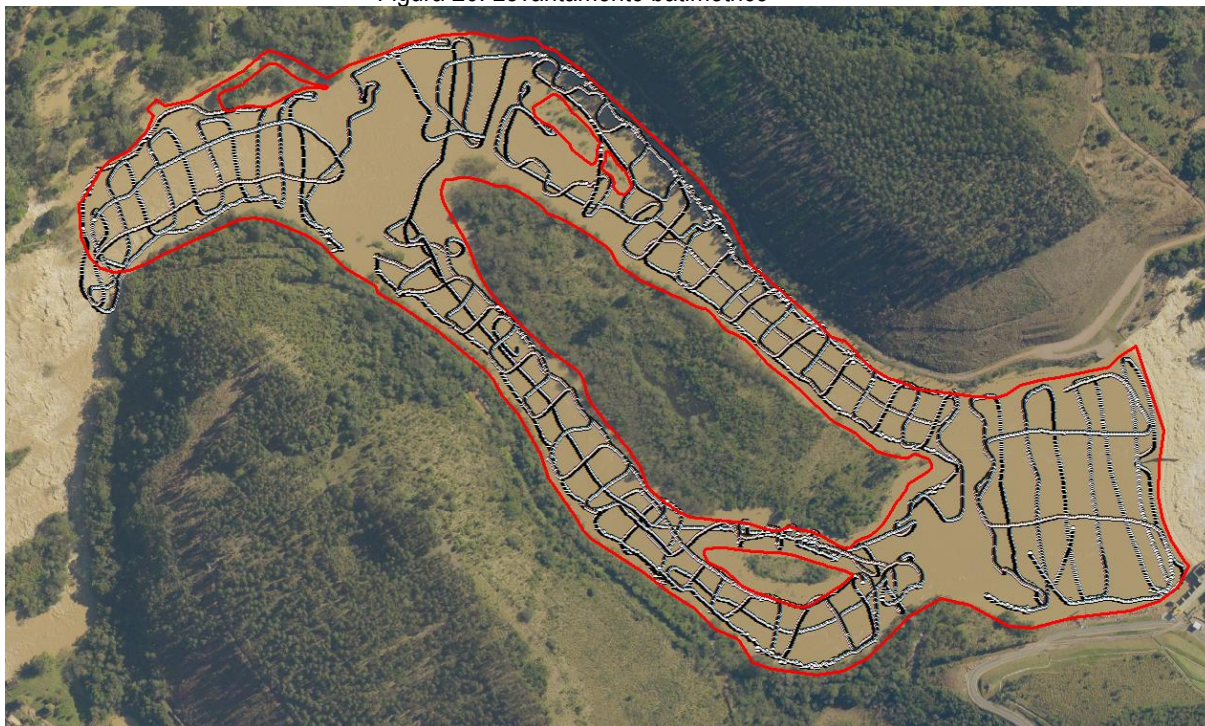


Com respeito à mensuração das profundidades, a mesma foi executada com um equipamento de registro contínuo digital, com registro de ecogramas digital, com precisão da medição isolada igual a 1 centímetro, devidamente instalado na lateral da embarcação, a qual se deslocou numa velocidade condizente com o fluxo d'água e garantindo a coleta mínima de 1 ponto a cada 2 metros ao longo da linha de sondagem percorrida. Além disso, determinou-se, de forma acurada, a profundidade de imersão do transdutor e a aferição do ecobatímetro durante o período de sondagem.

Com a finalidade de registro, destaca-se a difícil navegabilidade da embarcação dentro do reservatório em função de sua baixa profundidade média, grande quantidade de rochas em seu leito e a presença de ilhas, informa-se que houveram zonas onde não foi possível realizar o levantamento conforme pode ser visto na Figura 26.



Figura 26. Levantamento batimétrico



Como forma de demonstrar estas regiões de difícil e inviável navegabilidade, junto ao Anexo 5 estão sendo disponibilizadas imagens e vídeos aéreos do reservatório.

### 3.2.5 Implantação das Seções de Controle: Localização e Quantidade

Conforme o previsto, foram instaladas 06 seções de controle (SC) para o monitoramento dos processos hidrossedimentológicos do reservatório como um meio de acompanhar a evolução dos depósitos sedimentares no leito ou comprovar sua inexistência. As seções de controle foram posicionadas em locais onde são esperados os depósitos de sedimentos, em função da morfologia do reservatório, características dos sedimentos e do regime de operação.

Foram utilizados os seguintes critérios expostos nas orientações para sua implantação:

- Um conjunto com três seções de controle topobatimétrico, caso o reservatório tenha sido enquadrado como de baixa criticidade. Esse conjunto é posicionado no quartil superior, incluindo a zona de remanso. O espaçamento entre as três seções é da ordem de no mínimo cinco vezes a largura do rio em condições naturais.
- No caso de reservatórios com média criticidade ao assoreamento, instalação de dois conjuntos, com três seções de controle em cada, em dois locais distintos do reservatório, no entanto, ambos propícios ao assoreamento. O posicionamento das seções deve obedecer aos mesmos critérios dos reservatórios de baixa criticidade.
- Já no caso dos reservatórios de alta criticidade, instalação de três conjuntos, também com três seções cada, em três locais distintos e todos propícios ao assoreamento. O posicionamento das seções deve obedecer aos mesmos critérios dos reservatórios de baixa criticidade.

Considerando que o reservatório da UHE Salto Pilão é classificado como sendo de média

criticidade ao assoreamento, foram instalados dois conjuntos, com três seções de controle topobatimétrico cada, em dois locais distintos do reservatório em sua porção mais a montante. Os dois conjuntos de seções de controle foram posicionados respeitando as orientações da ANA. A descrição e localização das seções implantadas estão apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6. Descrição das seções de controle implantadas

Número Conjunto	Número Seção	Coordenadas UTM	
		Ponto Inicial (PI)	Ponto Final (PF)
1	01	645929.338 E 6997908.550 N	646010.084 E 6997805.355 N
	02	646254.900 E 6997999.760 N	646196.346 E 6997758.427 N
	03	646411.022 E 6997906.605 N	646367.569 E 6997807.792 N
2	04	646301.160 E 6997750.363 N	646256.996 E 6997710.567 N
	05	646568.604 E 6997739.913 N	646525.505 E 6997692.236 N
	06	646442.120 E 6997588.485 N	646409.708 E 6997526.401 N

As seções topobatimétricas foram materializadas em campo, através de dois marcos de material sintético não nocivos ao meio ambiente, posicionados em ambas as margens do reservatório acima do nível máximo operacional e com alinhamento perpendicular ao fluxo do corpo hídrico.

Essas seções de controle deverão ser levantadas novamente uma vez a cada 3 (três) anos, conforme orientação do item 21 do Parecer técnico N° 267/2019 SGH-ANA de aprovação do Plano de Trabalho para Atualização da CAV da UHE Salto Pilão. A Figura 27 ilustra a localização dos dois grupos de seção de controle instalados procedida dos registros fotográficos da visada de cada uma, Figura 28 a Figura 33, e de seus respectivos perfis topobatimétricos, Figura 34 a Figura 39. Os arquivos brutos e processados do levantamento são apresentados no Anexo 9 e os dados tabulados, em formato .asc, disponibilizados juntos ao Anexo 4.



Figura 27. Localização das seções de controle instaladas





Figura 28. Seção de controle 1



Figura 29. Seção de controle 2



Figura 30. Seção de controle 3



Figura 31. Seção de controle 4



Figura 32. Seção de controle 5



Figura 33. Seção de controle 6





Figura 34. Seção de controle 01

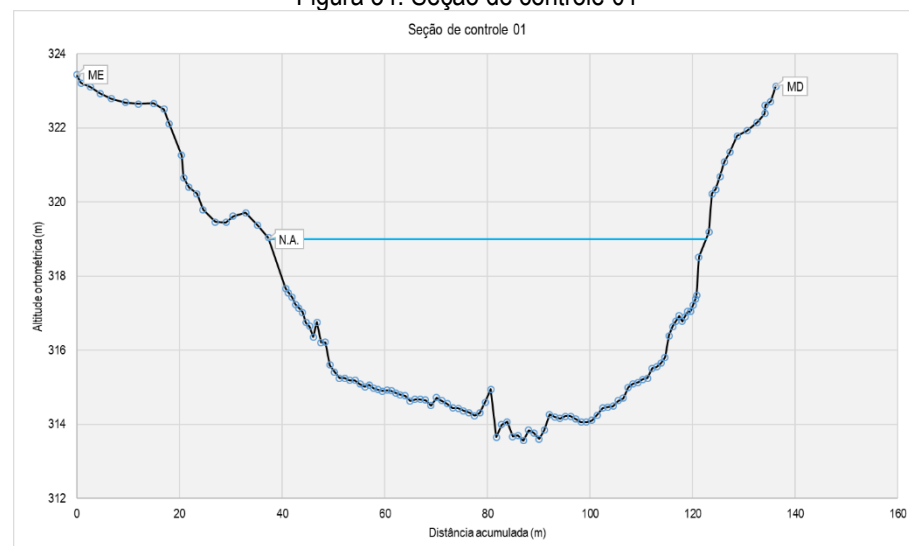


Figura 35. Seção de controle 02

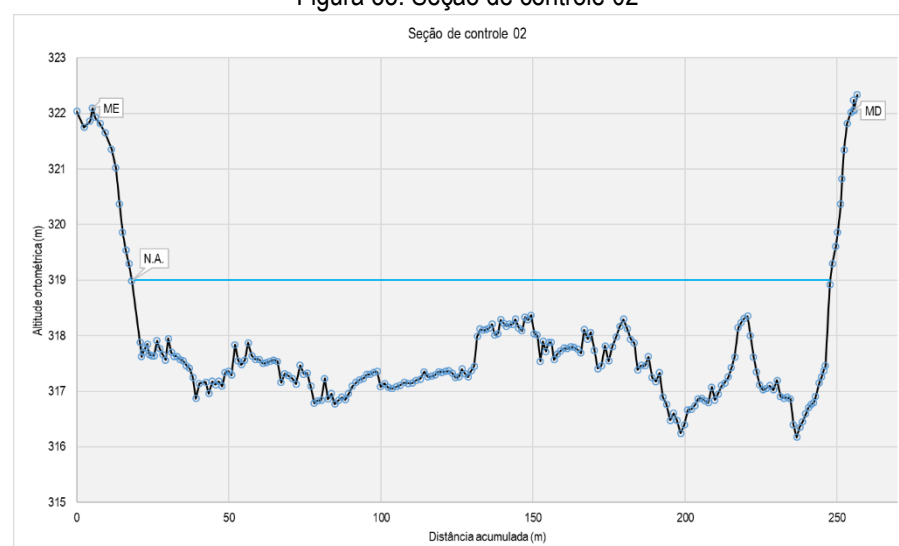


Figura 36. Seção de controle 03

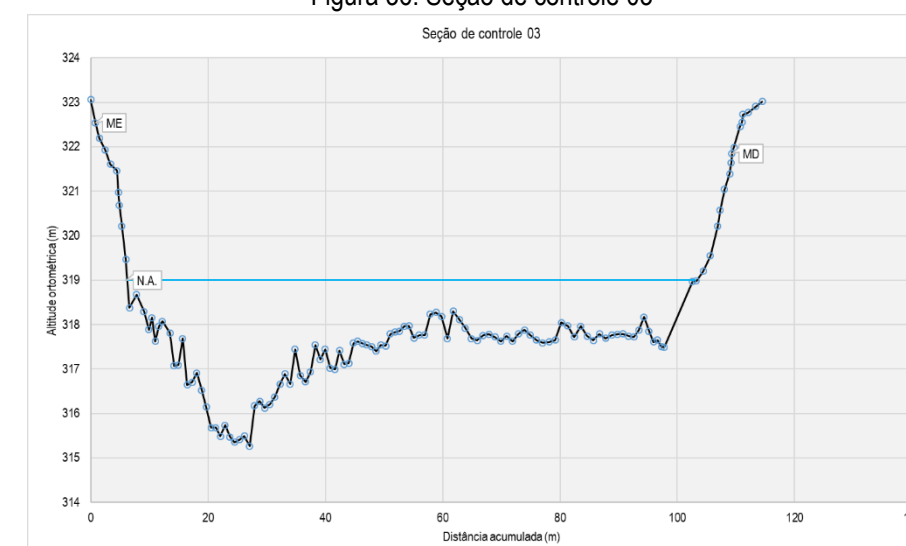


Figura 37. Seção de controle 04

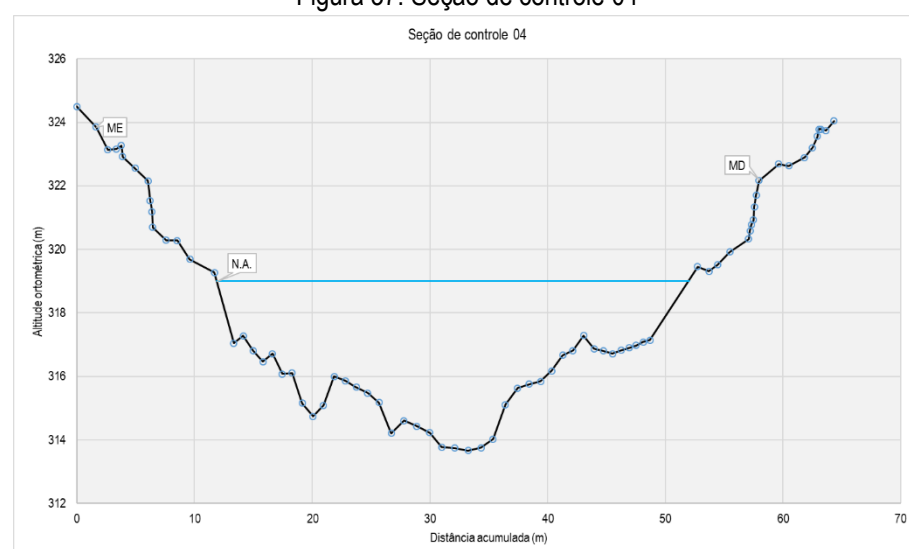


Figura 38. Seção de controle 05

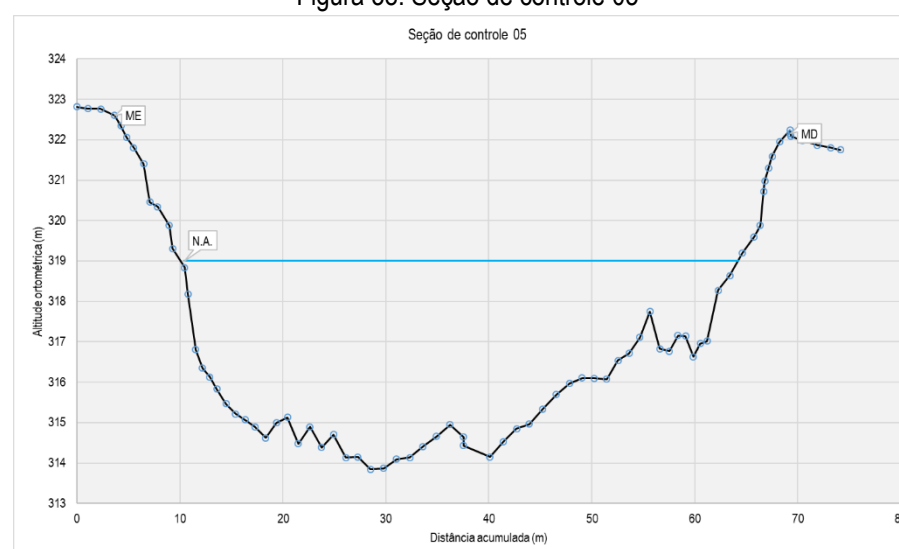
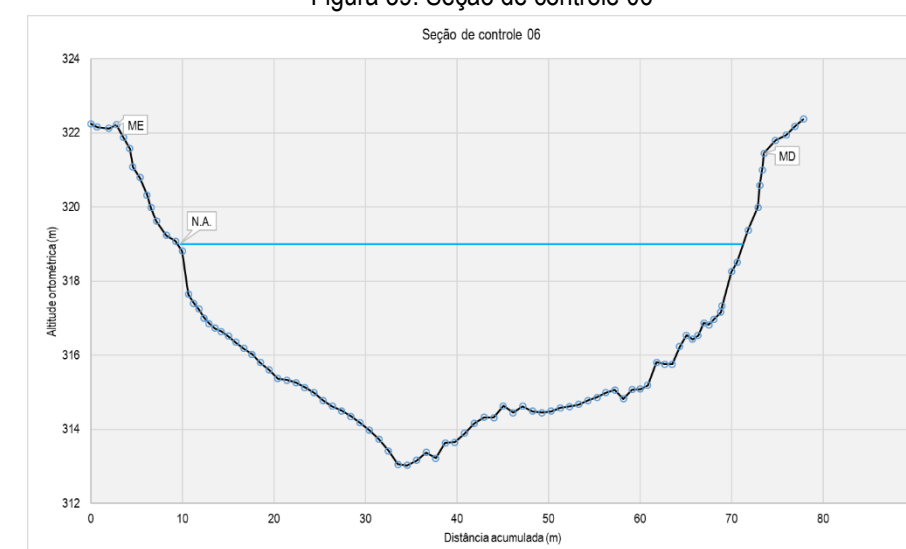


Figura 39. Seção de controle 06



### 3.2.6 Modelo Digital do Reservatório e Curva Cota x Área x Volume

Para a elaboração do modelo digital do terreno, fez-se primeiramente a limpeza dos registros batimétricos. Nesta etapa, todas as seções mapeadas foram plotadas e avaliadas individualmente; os dados de profundidade foram consistidos e os registros espúrios removidos.

Consistidos as informações, aplicou-se a Equação 3 para obter para cada ponto a altitude ortométrica do fundo do reservatório.

$$H = NA - P - N$$

Equação 3. Altitude ortométrica do fundo do reservatório

Onde:

H: Altitude ortométrica do fundo do reservatório (m);

NA: Nível d'água médio horário em altitude elipsoidal do barramento (m);

P: Profundidade obtida pelo ecobatímetro (m) e

N: Ondulação geoidal MAPGEO2015 (m)

Além dos dados batimétricos, houve a necessidade de utilizar algumas condições de contorno (c.c.) para delimitar o levantamento. As condições de contorno tiveram a finalidade de representar feições não contempladas no levantamento batimétrico, tais como, ilhas e estruturas físicas. No caso da UHE Salto Pilão, geraram-se curvas de nível que representaram as ilhas dentro do reservatório, afloramento de rochas e o barramento do empreendimento. Essas condições observadas durante o levantamento podem ser vistas através dos registros fotográficos e vídeos aéreos do reservatório disponíveis no Anexo 5.

Além dessas feições, utilizou-se as informações matriciais com resolução de 1 metro, documento “MDT\_SG\_22\_Z\_C\_III\_2\_SE\_B1”, do SIG do Estado de Santa Catarina conforme apresentado no item 3.2.3.

Determinada as c.c., utilizou-se o interpolador Topo to Raster do software ArcGis 10.3 para que, juntamente com os dados batimétricos consistidos, as curvas de nível gerassem o modelo digital de terreno do reservatório.

Obtido o modelo final, utilizou-se a ferramenta Surface Volume do software ArcGis 10.3 onde a cada 0,1 m gerou-se um plano de corte no modelo e calculou-se a área desse plano e o volume abaixo dele. Com isso foi possível obter as relações cota x área e cota x volume.

## 4 MATERIAIS

### 4.1 Rastreios com receptores GNSS

O equipamento utilizado para rastreo das RRNN do IBGE e implantação da Rede de Vértices Geodésicos e Seções de Controle são os receptores GNSS modelos TOPCON GR3 e Geomax Zenith 15.

### 4.2 Mapeamento da Área Molhada do Reservatório

O levantamento batimétrico foi realizado com o uso de uma eco-sonda South Ecobatímetro SDE-28S, para a determinação da profundidade e por um receptor GNSS auxiliado por um rádio externo. O receptor e rádio utilizados são um RTK modelo Geomax Zenith 15 com correção em tempo real e um rádio externo PDL-HPB 450-470MHZ. As coordenadas planimétricas foram

referenciadas ao sistema cartográfico UTM SIRGAS 2000, fuso 22. Os níveis d'água (NA) utilizados para estimativa das cotas batimétricas (subtraindo as profundidades medidas) foram obtidas a partir da régua limnimétrica instalada no barramento.

O programa utilizado para planejar e navegar durante o serviço de batimetria é o Power Nav, recebendo posições em tempo real de navegação do sinal do RTK. O programa utilizado para receber os dados de profundidades instantâneas é o SDE, gerando o ecograma digital do fundo d'água.

Além disso, os equipamentos de apoio utilizados são os seguintes:

- Notebook e máquina fotográfica digital;
- Barco de alumínio de 14 pés com motor de 15 HP;
- Bastão extensor de 8 metros;
- Veículo 4x4;
- Drone Mavic Air A2.

### **4.3 Processamento dos Dados**

Os seguintes softwares foram utilizados no processamento de dados em escritório, desde o ajuste de coordenadas e níveis até o geoprocessamento dos dados para a geração do Modelo Digital de Elevação do reservatório.

- EXCEL 2013: para auxílio no processamento dos dados coletados e cálculo das curvas cota x área e cota x volume;
- WORD 2013: para elaboração do relatório e seus anexos;
- ArcGIS 10.3: para geoprocessamento;
- PROGRID: disponibilizado pelo IBGE para transformação de coordenadas;
- MAPGEO 2015: disponibilizado pelo IBGE para obtenção da ondulação geoidal.

## 5 RESULTADO

### 5.1 Desvio vertical sistema local x sistema geodésico brasileiro

A verificação do desvio vertical entre o sistema de referência local e o sistema geodésico brasileiro (SGB) foi realizada no dia 23/10/2020. Para isso, fez-se um duplo rastreamento com receptor GNSS, cada um com ocupação de 3 horas e meia no barramento da usina e posterior nivelamento geométrico ao nível d'água do reservatório. Utilizou-se o modelo de ondulação geoidal MAPGEO2015, validado no item 3.2.2, na obtenção da altitude ortométrica do ponto rastreado. Os registros do rastreamento, relatórios de pós processamentos e arquivos do nivelamento estão disponíveis junto ao Anexo 13.

A altitude obtida no rastreamento foi comparada com o nível de água do limnógrafo instalado no barramento do empreendimento cujos dados são enviados via telemetria a Agência. Como resultado, Tabela 7, observou-se um desvio vertical de -0,10 m do sistema local em relação ao SGB.

Tabela 7. Desvio vertical Sistema local x SGB

Nome	Este	Norte	LOCAL N.A. lim 23/10/2020 10:00 (m)	hrastreio (m)	dHnivelamento (m)	hobservado (m)	N (m)	SGB N.A. observado (m)	Desvio Vertical (m)
RN Barramento	646807.705	6997726.932	<b>318,44</b>	328,335	7,11	321,225	2,68	<b>318,54</b>	-0,10

### 5.2 Modelo Digital do Reservatório e Curva Cota x Área x Volume

O modelo digital de terreno obtido tem resolução de 0,25 m e as curvas de nível geradas amplitude altimétrica de 0,5 m. Para avaliar a aderência dos dados batimétricos ao modelo gerado, comparou-se os dados batimétricos de entrada com a altitude do modelo para cada ponto. Como resultado, obteve-se o histograma ilustrado na Figura 40 e discretizado na Tabela 8. Nele, é possível observar que 62,8 % dos pontos apresentaram diferença menor que |0,1 m| com o modelo e 88,5 % uma diferença menor que |0,25 m|.



Figura 40. Diferença levantamento hidrográfico x modelo

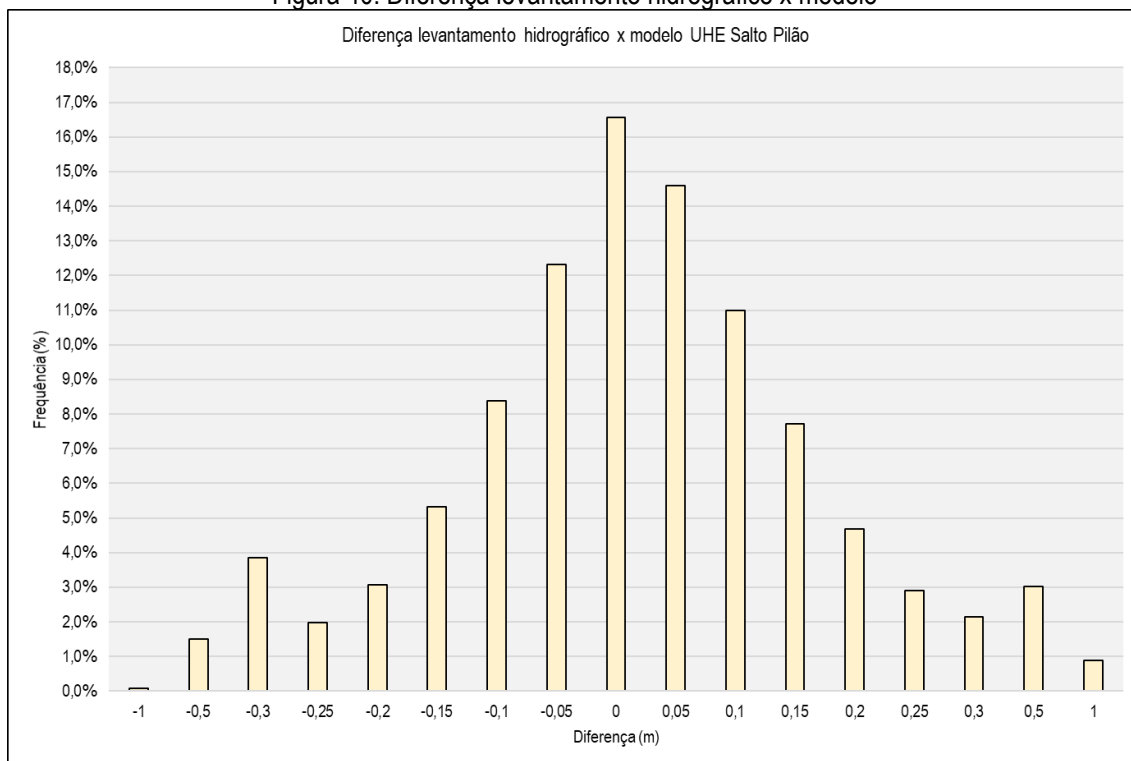
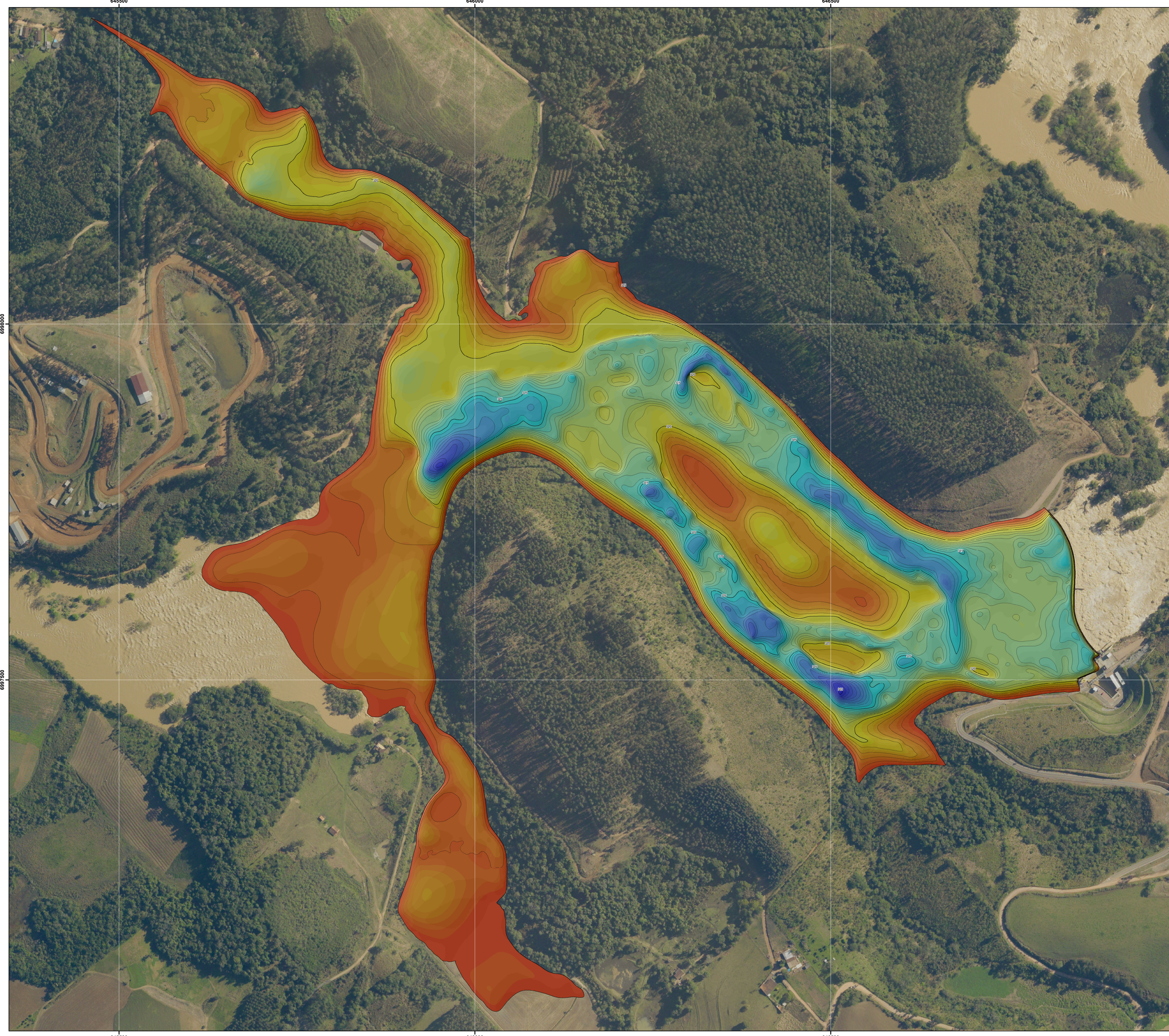


Tabela 8. Controle de qualidade do modelo digital de terreno

Diferença (m)	Observações	Frequência (%)
-1,0	5	0,1%
-0,5	97	1,5%
-0,3	247	3,8%
-0,25	127	2,0%
-0,2	198	3,1%
-0,15	342	5,3%
-0,1	539	8,4%
-0,05	792	12,3%
0	1065	16,6%
0,05	939	14,6%
0,1	707	11,0%
0,15	497	7,7%
0,2	301	4,7%
0,25	186	2,9%
0,3	138	2,1%
0,5	195	3,0%
1,0	57	0,9%

Esses resultados demonstram uma boa aderência da superfície gerada aos dados. O modelo final é apresentado abaixo, na Figura 41.





Régua localizada no barramento da UHE Salto Pilão

NÍVEIS DE BARRAMENTO		
Dia	Hora	Altitude ortométrica (m)
14/12/2019	08:00	318,94 m
14/12/2019	09:00	318,98 m
14/12/2019	11:00	319,04 m
14/12/2019	12:00	319,07 m
14/12/2019	13:00	319,06 m
14/12/2019	14:00	318,85 m
14/12/2019	15:00	318,98 m
08/12/2019	10:00	318,55 m
08/12/2019	11:00	318,64 m

LEGENDA

Isolinhas (m)

Modelo Digital de Terreno UHE Salto Pilão (m)

	309.9 - 310.0		317.6 - 318.0
	310.1 - 310.5		318.1 - 318.5
	310.6 - 311.0		318.6 - 319.0
	311.1 - 311.5		319.1 - 319.5
	311.6 - 312.0		319.6 - 320.0
	312.1 - 312.5		320.1 - 320.5
	312.6 - 313.0		320.6 - 321.0
	313.1 - 313.5		321.1 - 321.5
	313.6 - 314.0		321.6 - 322.0
	314.1 - 314.5		322.1 - 322.5
	314.6 - 315.0		322.6 - 323.0
	315.1 - 315.5		323.1 - 323.5
	315.6 - 316.0		323.6 - 324.0
	316.1 - 316.5		324.1 - 324.5
	316.6 - 317.0		324.6 - 325.0
	317.1 - 317.5		

SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS  
UTM 22S SIRGAS 2000

0

25

50

100

150

200

m

TITULAR

CESAP - Consórcio Empresarial Salto Pilão

CARTA IMAGEM

RESERVATÓRIO UHE SALTO PILÃO

PERÍODO DE SONDAGEM 08 E 12 DE DEZEMBRO DE 2019

EXECUTOR

ÁGUA E SOLO ESTUDOS E PROJETOS LTDA

COORDENADAS GEOGRÁFICAS

UTM

ESCALA CARTA IMAGEM

1:2.500

DATUM VERTICAL

MAPGE02015

DATUM HORIZONTAL

SIRGAS 2000

BASE CARTOGRÁFICA

MOSAICO DE IMAGENS

Fonte: SIKSIC

Origem: RGB, SG-22-C-III-2-SE-B.tif

BANDAS: 1, 2, 3 - COMPOSIÇÃO COLORIDA RGB

Responsável Técnico:

Lawson Bellane

CREA: RS010020

Execução:

Alceu Correa

CREA: RS211959

FL. 1/1



As curvas cota x área e cota x volume foram definidas a partir dos dados do modelo digital do reservatório com a variação de 10 cm para cotas abaixo do nível 317,00 m e de 0,01 m entre 317,00 m e 325,00 m.

Os gráficos que representam as curvas cota x área e cota x volume são apresentados na Figura 42 e Figura 43 respectivamente e são procedidos da Tabela 9 que apresenta a relação de cota x área x volume tabulada em 1 m. A discretização de nível completa das curvas estão disponíveis juntas ao Anexo 4.

Figura 42. Curva Cota x Área

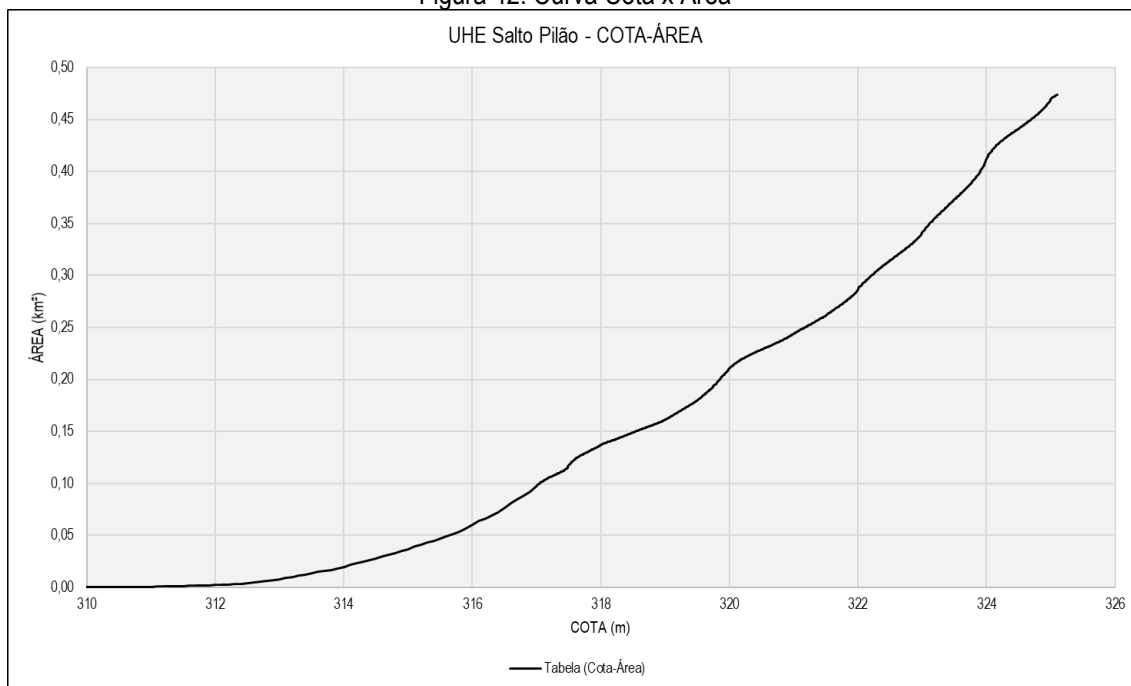


Figura 43. Curva Cota x Volume

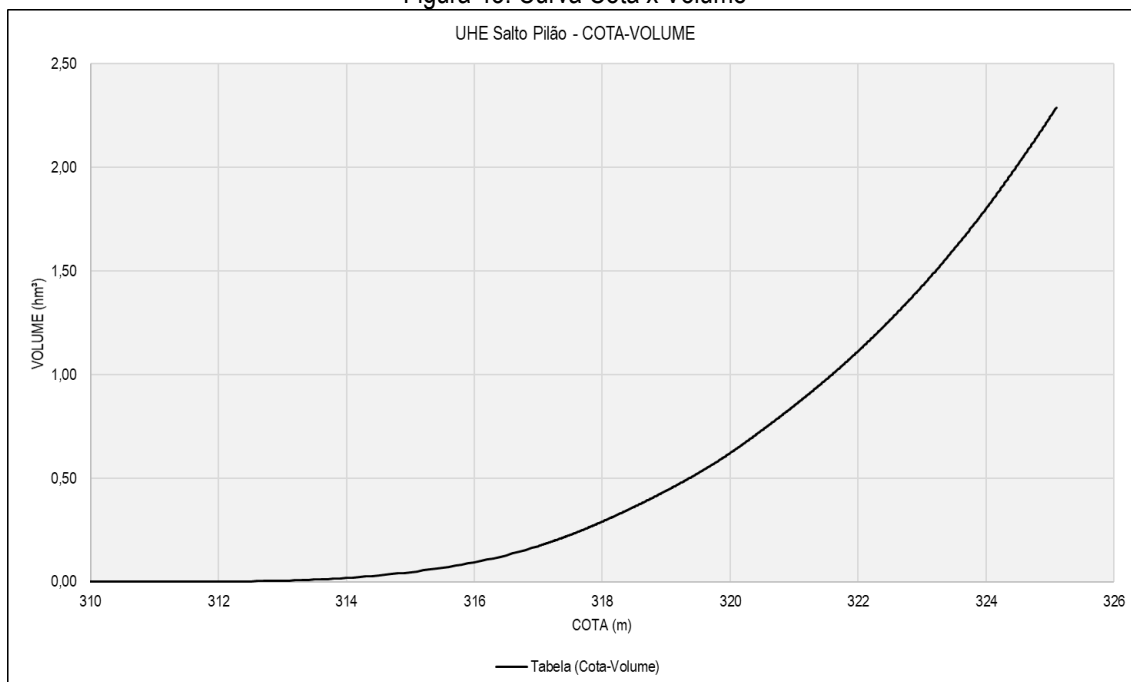


Tabela 9. Relação Cota x Área x Volume SGB

Altitude ortométrica [m]	Área [km²]	Volume [hm³]
309,80	0,0000	0,0000
310,00	0,000034	0,0000018
311,00	0,00061	0,00029
312,00	0,0022	0,0016
313,00	0,0079	0,0058
314,00	0,0197	0,0193
315,00	0,0369	0,0473
316,00	0,0601	0,0948
317,00	0,0974	0,1731
318,00	0,1370	0,2908
319,00	0,1612	0,4397
320,00	0,2105	0,6218
321,00	0,2438	0,8502
322,00	0,2867	1,1129
323,00	0,3410	1,4270
324,00	0,4127	1,8006
325,00	0,4694	2,2420
325,10	0,4735	2,2892

Conforme preconizado nas orientações e solicitado pelo Agência, apresenta-se abaixo na Tabela 10 as funções polinomiais de quarta ordem que melhor representam as relações de cota x área e cota x volume do reservatório da UHE Salto Pilão.

Tabela 10. Funções polinomiais de 4º ordem – Área e Volume

Área =	$A = 0,00000685699419849389.C4 - 0,00872601938295891.C3 + 4,16598418688968.C2 - 884,31529758502.C + 70.417$	[km²]
Volume =	$V = -0,0000090977690467009.C4 + 0,0122679552677587.C3 - 6,16624304369137.C2 + 1.370,34586705909.C - 113.686$	[hm³]

Entretanto, conforme demonstrado na Tabela 11 e Tabela 12, os desvios relativos entre os valores observados no modelo e as funções polinomiais ficaram elevados na porção inferior das curvas. Assim, apesar de apresentadas as funções acima, orienta-se a priorização da utilização dos valores tabulados.

Tabela 11. Desvios relativos função cota x área SGB

Altitude ortométrica [m]	Área Modelo [km²]	Área Calculada [km²]	Área Erro relativo [%]
309,80	0,0000	0,0031	-
310,00	0,000034	0,0010	-
311,00	0,00061	-0,0044	-
312,00	0,00223	-0,0019	-
313,00	0,00789	0,0074	-7,2%
314,00	0,0197	0,0224	12,0%
315,00	0,0369	0,0424	13,1%
316,00	0,0601	0,0669	10,1%
317,00	0,0974	0,0953	-2,2%
318,00	0,1370	0,1275	-7,5%
319,00	0,1612	0,1633	1,3%
320,00	0,2105	0,2028	-3,8%
321,00	0,2438	0,2461	0,9%
322,00	0,2867	0,2938	2,4%
323,00	0,3410	0,3463	1,5%
324,00	0,4127	0,4043	-2,1%
325,00	0,4694	0,4688	-0,1%
325,10	0,4735	0,4757	0,5%

Tabela 12. Desvios relativos função cota x volume

Altitude ortométrica [m]	Volume Modelo [hm³]	Volume Calculado [hm³]	Volume Erro relativo [%]
309,80	0,0000	0,0012	-
310,00	0,0000018	0,0014	-
311,00	0,00029	-0,0003	-
312,00	0,00159	-0,0019	-
313,00	0,00584	0,00232	-151,6%
314,00	0,0193	0,0176	-9,6%
315,00	0,0473	0,0492	3,9%
316,00	0,0948	0,1021	7,1%
317,00	0,1731	0,1808	4,3%
318,00	0,2908	0,2900	-0,3%
319,00	0,4397	0,4339	-1,3%
320,00	0,6218	0,6166	-0,8%
321,00	0,8502	0,8420	-1,0%
322,00	1,1129	1,1136	0,1%
323,00	1,4270	1,4348	0,5%
324,00	1,8006	1,8089	0,5%
325,00	2,2420	2,2389	-0,1%
325,10	2,2892	2,2850	-0,2%

### 5.3 Comparação dados de projeto

A comparação dos dados de área e volume atualizados com os dados disponíveis de projeto tem a finalidade de avaliar a evolução geomorfológica da área e do volume do reservatório. No caso da UHE Salto Pilão, observou-se um aumento expressivo nos volumes mínimo normal (318,0 m) e máximo normal (319,0 m) conforme ilustrado na Tabela 13.

Tabela 13. Comparação informações projeto x atualizadas

Parâmetro	N.A. Mínimo Normal (m)	N.A. Máximo Normal (m)	N.A. Máximo Maximorum (m)
	318,00 m	319,00 m	325
<b>Diferenças a Partir dos Valores Medidos</b>			
Área Original (km²)	0,131867	0,154745	0,370271
Área Atualizada (km²)	0,1395	0,1648	0,4735
<b>Diferença (%)</b>	<b>5,8%</b>	<b>6,5%</b>	<b>27,9%</b>
Volume Original (Hm³)	0,118889	0,262195	1,883677
Volume Atualizado (Hm³)	0,3046	0,4560	2,2892
<b>Diferença (%)</b>	<b>156,2%</b>	<b>73,9%</b>	<b>21,5%</b>

Acredita-se que o motivo desta diferença expressiva obtida seja a baixa representatividade dos dados de projeto, os quais iniciam as relações de cota x área x volume a partir da altitude 316,0 m conforme exposto na Tabela 13.

Tabela 14. Curvas Cota x Área x Volume de projeto

Cota (m)	Área (km²)	Volume (hm³)
316,00	0,0	0,0
317,00	0,052956	0,026478
318,00	0,131867	0,118889
319,00	0,154745	0,262195

Outro fator que indica isso é o volume útil do empreendimento (318,0 m; 319,0 m), o qual teve um aumento muito menor, de apenas 5,6 %, passando de 0,143306 hm³ para 0,151395 hm³.

Assim, apesar de distante dos valores de projeto, entende-se que as relações cota x área x volume atualizadas representam satisfatoriamente a condição atual do reservatório da UHE Salto Pilão e que o aumento expressivo no volume, aparentemente, não é decorrente de processos erosivos, mas sim de uma baixa representatividade dos dados de projeto. Abaixo, na Figura 44, é apresentada a comparação gráfica entre as curvas de projeto e atualizadas.

Figura 44. Comparação curvas de projeto x curvas atualizadas

