

COMPANHIA ESTADUAL DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA CEEE-GT  
TOPOCART TOPOGRAFIA ENGENHARIA E AEROLEVANTAMENTOS S/S LTDA

**RELATÓRIO TÉCNICO**  
**ATUALIZAÇÃO DAS CURVAS COTA x ÁREA x VOLUME**  
**RESERVATÓRIO UHE ITAÚBA**

- IMPLANTAÇÃO DA RVG
- NIVELAMENTO GEOMÉTRICO
- MODELO GEOIDAL LOCAL
- PONTOS DE CONTROLE DE QUALIDADE PARA VALIDAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA EXISTENTE
- LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO
- MODELO DIGITAL DO TERRENO
- CURVAS CAV
- SEÇÕES TOPOBATIMÉTRICAS DE CONTROLE

**REVISÃO 5**

**CONTRATO DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS S/N**  
**15 / abril / 2019**

Brasília-DF, Dezembro de 2020.

**ÍNDICE**

<b>ANEXOS DIGITAIS.....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>8</b>
<b>1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....</b>	<b>9</b>
1.1. Objetivo Geral .....	9
1.2. Objetivo Específico.....	10
1.3. Localização da Área .....	10
<b>2. SERVIÇOS EXECUTADOS.....</b>	<b>12</b>
2.1. Implantação da RVG para o Reservatório .....	12
2.2. Nivelamento Geométrico.....	12
2.3. Elaboração do Modelo de Ondulação Geoidal Local .....	12
2.4. Determinação dos Pontos de Controle de Qualidade para Validação da Base Cartográfica Existente .....	12
2.5. Levantamento Batimétrico .....	13
2.6. Modelo Digital do Terreno.....	13
2.7. Curvas Cota x Área x Volume .....	13
2.8. Seções Topobatimétricas de Controle .....	13
2.9. Considerações Gerais .....	13
<b>3. REFERENCIAIS PLANIALTIMÉTRICOS ADOTADOS .....</b>	<b>15</b>
3.1. Sistema Geodésico Empregado.....	15
3.1.1. Referencial Geodésico .....	15
3.1.1.1. SIRGAS 2000 .....	15
3.1.2. Referencial Altimétrico .....	16
3.2. Identificação e Distribuição.....	16
3.2.1. Vértices de Referência .....	16
3.3. Diferença Referencial Altimétrico IBGE x CEEE .....	18
<b>4. IMPLANTAÇÃO DA REDE DE VÉRTICES GEODÉSICOS - RVG .....</b>	<b>19</b>
4.1. Transporte de Coordenadas para o PA04, PA15=2100C e PA17=2100T.....	19
4.2. Vértices da RVG.....	20
4.3. Levantamento, Processamento e Ajustamento .....	23
4.3.1. Rastreios GNSS.....	23
4.3.1.1. Levantamento dos Vértices .....	23
4.3.1.2. Processamento e Ajustamento.....	24
4.4. Resultados Obtidos .....	24
4.5. Produtos Entregues na Etapa de Implantação da RVG .....	25
<b>5. NIVELAMENTO GEOMÉTRICO .....</b>	<b>27</b>
5.1. Circuito 1: 2100V / 2100E .....	28
5.2. Circuito 1: 2100E / 2100E.....	28
5.3. Circuito 1: 1799R / 1799R .....	29
5.4. Resultados Obtidos .....	29
5.4.1. Circuito de Nivelamento Realizado.....	29
5.5. Produtos Entregues na Etapa do Nivelamento Geométrico .....	30

<b>6. MODELO GEOIDAL LOCAL - MGL .....</b>	<b>31</b>
6.1. Ondulação Geoidal.....	31
6.2. Vértices do MGL.....	32
6.3. Processamento dos Vértices do MGL .....	32
6.4. Interpolador Polinomial .....	33
6.5. Geração do MGL .....	34
6.6. Resultados Obtidos .....	35
6.6.1. Análise do Modelo de Ondulação Geoidal Local .....	35
6.6.2. Comparação MGL x MAPGEO2015 V1.....	36
6.7. Produtos Entregues na Etapa do MGL .....	37
<b>7. CONTROLE DE QUALIDADE DA BASE CARTOGRÁFICA EXISTENTE .....</b>	<b>38</b>
7.1. Metodologia.....	38
7.2. Coleta dos Pontos de Controle de Qualidade .....	39
7.3. Processamento dos Pontos de Controle de Qualidade.....	40
7.4. Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) .....	40
7.5. Levantamentos dos Pontos de Controle de Qualidade.....	41
7.6. Resultados Obtidos .....	43
7.6.1. Vértices do CQ da Base Cartográfica Existente.....	43
7.6.2. Análise de Qualidade Planimétrica e Altimétrica .....	45
7.7. Produtos Entregues na Etapa Controle de Qualidade .....	49
<b>8. LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO.....</b>	<b>50</b>
8.1. Planejamento da Batimetria .....	50
8.1.1. Levantamento Batimétrico Intercalado ao Existente e Complemento de Buracos.....	51
8.2. Calibração do Ecobatímetro.....	52
8.3. Execução do Levantamento Batimétrico .....	52
8.4. Coleta das Informações.....	53
8.5. Pontos Inacessíveis para Batimetria .....	57
8.6. Variação do Nível d'Água .....	57
8.7. Processamento.....	57
8.8. Análises dos Dados Coletados.....	58
8.9. Controle de Qualidade e Correção do Levantamento Batimétrico Existente .....	59
8.10. Produtos Entregues na Etapa de Levantamento Batimétrico .....	62
<b>9. GERAÇÃO DO MDT DO RESERVATÓRIO .....</b>	<b>63</b>
9.1. Tratamento de Dados da Parte Molhada .....	63
9.2. Geração do MDT (Integração de Dados Parte Seca e Molhada).....	66
9.3. Produtos Entregues na Etapa de Geração do MDT.....	67
<b>10. EDIÇÃO CARTOGRÁFICA.....</b>	<b>68</b>
10.1. Edição Vetorial .....	68
10.2. Pré-edição .....	68
10.3. Revisão .....	69
10.4. Edição Final .....	69
10.5. Produtos Entregues na Etapa de Edição Cartográfica.....	70
<b>11. GERAÇÃO DAS CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME.....</b>	<b>71</b>
11.1. Cálculo da Área e Volume .....	71
11.2. Produtos Entregues na Etapa de Geração das Curvas CAV .....	72
<b>12. COMPARAÇÃO DAS CURVAS CAV: ANTIGA X 2019 .....</b>	<b>73</b>

<b>13. SEÇÕES TOPOBATIMÉTRICAS DE CONTROLE .....</b>	<b>74</b>
13.1. Implantação de Vértices para Seções de Controle .....	75
13.2. Processamento dos Vértices das Seções .....	77
13.3. Levantamento Topobatimétrico .....	77
13.3.1. Levantamento por Estação Total .....	78
13.3.1.1. Método da Poligonação .....	78
13.3.1.2. Método das Irradiações .....	79
13.3.2. Levantamento por RTK .....	80
13.4. Processamento .....	80
13.5. Levantamentos Batimétricos .....	81
13.6. Desenhos das Seções de Controle .....	81
13.7. Resultados Obtidos .....	83
13.7.1. Implantação de Vértices de Apoio às SC's .....	83
13.7.2. Levantamento Topobatimétrico das Seções .....	83
13.7.2.1. Seção Topobatimétrica com Estação Total / RTK .....	83
13.7.2.2. Seção Topobatimétrica com Ecobatímetro .....	84
13.8. Produtos Entregues na Etapa de Implantação da SC's .....	84
<b>14. CONTROLE DE QUALIDADE DOS SERVIÇOS REALIZADOS .....</b>	<b>86</b>
14.1. Conferência dos Equipamentos .....	86
14.2. Execução dos Trabalhos de Campo .....	86
14.3. Dados Coletados no Rastreo dos Pontos .....	86
14.4. Dados Coletados no Nivelamento Geométrico .....	86
14.5. Dados Coletados no Levantamento Batimétrico .....	86
14.6. Dados Coletados para Seções Topobatimétricas de Controle .....	87
14.7. Processamento e Ajustamento .....	87
14.8. Elaboração do MGL .....	87
14.9. Base Cartográfica Atualizada 1:10.000 .....	87
14.10. Desenhos das Seções Topobatimétricas .....	87
14.11. Dados Técnicos .....	87
14.12. Monografias de Vértices Implantados .....	88
<b>15. CONCLUSÃO .....</b>	<b>89</b>
<b>16. DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS .....</b>	<b>90</b>
<b>17. DESCRIÇÃO DA EQUIPE TÉCNICA .....</b>	<b>91</b>

## **ANEXOS DIGITAIS**

### **Anexo 1 - ARQUIVO KMZ**

### **Anexo 2 - REDE DE VÉRTICES GEODÉSICOS**

- 2A - Monografias dos Vértices de Referência Oficiais
- 2B - Monografias dos Vértices Implantados para RVG
- 2C - Planilha de Coordenadas da RVG
- 2D - Registros Fotográficos
- 2E - Relatórios de Processamento e Ajustamento GNSS
- 2F - Arquivos Brutos GNSS

### **Anexo 3 - NIVELAMENTO GEOMÉTRICO**

- 3A - Relatórios do Processamento do Nivelamento Geométrico
- 3B - Arquivos Brutos do Nivelamento Geométrico
- 3C - Registros Fotográficos

### **Anexo 4 - MODELO GEOIDAL LOCAL**

- 4A - Desenho do MGL
- 4B - Superfície Geotiff do MGL
- 4C - Registros Fotográficos
- 4D - Relatórios de Processamento e Ajustamento GNSS
- 4E - Arquivos Brutos GNSS
- 4F - Planilha de Coordenadas do MGL

### **Anexo 5 - PONTOS DE CONTROLE DE QUALIDADE**

- 5A - Planilha de Coordenadas do CQ
- 5B - Registros Fotográficos
- 5C - Relatórios de Processamento e Ajustamento GNSS
- 5D - Arquivos Brutos GNSS
- 5E - Relatório de Qualidade GeoPEC

### **Anexo 6 - LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO**

- 6A - Arquivos do Levantamento Batimétrico (Seções Brutas e Editadas)

### **Anexo 7 - BASE CARTOGRÁFICA ATUALIZADA**

### **Anexo 8 - MODELOS DIGITAIS**

- 8A - Modelo Digital do Terreno (Reservatório, Entorno e Geral)

### **Anexo 9 - CURVAS CAV**

- 9A - Curvas CAV (geradas a cada cm e a cada 50 cm)
- 9B - Comparação das curvas CAV Antiga x 2019 (geradas a cada cm e a cada 50 cm)

### **Anexo 10 - SEÇÕES TOPOBATIMÉTRICAS DE CONTROLE**

- 10A - Desenhos das SC's
- 10B - Monografia dos Vértices Implantados para SC's

- 10C - Arquivos Brutos de Estação
- 10D - Arquivos Brutos GNSS-RTK
- 10E - Relatórios de Processamento de Estação
- 10F - Relatórios de Processamento e Ajustamento GNSS-RTK
- 10G - Arquivos do Levantamento Batimétrico (Seções Brutas e Editadas)
- 10H - Planilha de Coordenadas das SC's
- 10I - Registros Fotográficos

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 - Localização da Área do Reservatório da UHE - ITAÚBA.</i>	11
<i>Figura 2 - Vértices de Referência utilizados.</i>	17
<i>Figura 3 - Vértices Implantados/Reocupados como Referência Local.</i>	19
<i>Figura 4 - Modelo com dimensões dos marcos implantados.</i>	20
<i>Figura 5 - Fotografia do PA04.</i>	20
<i>Figura 6 - Distribuição das RN's nas proximidades do Reservatório.</i>	21
<i>Figura 7 - RVG levantada para os reservatórios de Passo Real, Itaúba e Itaúba.</i>	22
<i>Figura 8 - Exemplo da metodologia de posicionamento GNSS empregado.</i>	23
<i>Figura 9 - Circuitos de Nivelamento executado.</i>	27
<i>Figura 10 - Metodologia de Nivelamento Geométrico utilizado.</i>	28
<i>Figura 11 - Ondulação Geoidal. Fonte: IBGE.</i>	31
<i>Figura 12 - Vértices de Confecção do Modelo Geoidal Local (laranja) e Aferição (azul ciano).</i>	32
<i>Figura 13 - Interpolador de Polinômios para Ondulações Geoidais (N).</i>	34
<i>Figura 14 - Modelo Geoidal Local.</i>	34
<i>Figura 15 - Exemplo da coleta de HV's.</i>	39
<i>Figura 16 - Distribuição dos HV's.</i>	40
<i>Figura 17 - Pontos de Controle de Qualidade: CAMPO x BASE CARTOGRÁFICA.</i>	42
<i>Figura 18 - Distribuição dos Pontos de Controle de Qualidade na Base Cartográfica.</i>	43
<i>Figura 19 - Planejamento das Seções Batimétricas.</i>	51
<i>Figura 20 - Calibração do ecobatímetro.</i>	52
<i>Figura 21 - Modelo do plano de navegação com o software Hypack.</i>	53
<i>Figura 22 - Conjunto RTK / Ecobatímetro / Embarcação.</i>	53
<i>Figura 23 - Esquema de funcionamento da batimetria em tempo real.</i>	54
<i>Figura 24 - Bases RTK para os Levantamentos Batimétricos.</i>	55
<i>Figura 25 - Fluxograma de execução e obtenção das informações da batimetria.</i>	55
<i>Figura 26 - Execução do Levantamento Batimétrico.</i>	56
<i>Figura 27 - Acompanhamento da navegação, ilustrando a execução das linhas planejadas e controle da deriva.</i>	56
<i>Figura 28 - Exemplo de Seção bruta com spike.</i>	57
<i>Figura 29 - Exemplo de Seção editada, com eliminação do spike.</i>	58
<i>Figura 30 - Planta do Levantamento Batimétrico.</i>	59
<i>Figura 31 - Superfície de Correção para Seções Longitudinais do Levantamento Antigo (2013).</i>	60
<i>Figura 32 - Superfícies de correção para seções transversais do levantamento antigo.</i>	61
<i>Figura 33 - Exemplo de Seções transversais de 2019 em azul, em vermelho seção longitudinal de 2013 antes da correção e em verde após correção.</i>	61
<i>Figura 34 - Função do interpolador topo to raster.</i>	64
<i>Figura 35 - Exemplo de Linhas de Quebra criadas para definição do curso hídrico representadas por linha na cor rosa.</i>	65
<i>Figura 36 - MDT do Reservatório com a sobreposição das linhas de sondagem executadas.</i>	66
<i>Figura 37 - Visualização 3D da calha do Rio Jacuí.</i>	66
<i>Figura 38 - MDT Final da UHE - Itaúba.</i>	67
<i>Figura 39 - Modelos de Edição Final sobre as Ortofotos.</i>	69
<i>Figura 40 - Curvas CAV, Cota x Área (em azul) e Cota x Volume (em laranja).</i>	71
<i>Figura 41 - Comparação das Curvas CAV: Antiga x 2019.</i>	73
<i>Figura 42 - Localização das Seções Topobatimétricas de Controle.</i>	75
<i>Figura 39 - Seção 1: SC01 / SC01AZ.</i>	76
<i>Figura 40 - Seção 2: SC02 / SC02AZ.</i>	76
<i>Figura 41 - Seção 3: SC03 / SC03AZ.</i>	77
<i>Figura 46 - Exemplo de Poligonal, apoiada em dois pontos (A e A').</i>	79
<i>Figura 47 - Exemplo do Método das Irradiações {Fonte: Kahmen e Faig (1988)}.</i>	79
<i>Figura 48 - Levantamento de Seções Topobatimétricas de Controle com Estação Total.</i>	80
<i>Figura 49 - Exemplo de Levantamento de Seções Topobatimétricas com receptor RTK.</i>	80
<i>Figura 50 - Desenho da Seção Topobatimétrica de Controle SC01.</i>	82

**ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 1 - Lista de Coordenadas dos Vértices de Referência Oficiais (IBGE-SGB) utilizados.....	17
Tabela 2 - Diferenças dos Referenciais CEEE (etapas de Lev. Aerofot.) x IBGE (2018). ....	18
Tabela 3 - Lista de Coordenadas dos Vértices da RVG. ....	24
Tabela 4 - Resumo do Circuito 1, Nivelamento Geométrico. ....	29
Tabela 5 - Resumo do Circuito 2, Nivelamento Geométrico. ....	29
Tabela 6 - Resumo do Circuito 2, Nivelamento Geométrico. ....	30
Tabela 7 - Vértices utilizados no MGL. ....	33
Tabela 8 - Diferenças de Ondulação Geoidal ( $\Delta$ ) para o N (Nivelamento Geométrico) x N (MGL). ....	35
Tabela 9 - Comparação das Ondulações Geoidais MGL x IBGE MAPGEO 2015 V1. ....	36
Tabela 10 - Critérios do PEC-PCD Planimétrico. Fonte: ET-ADGV-DefesaFT (Versão 1.0 - Fevereiro 2015). ....	41
Tabela 11 - Critérios do PEC-PCD Altimétrico dos Pontos Cotados, MDT e MDS. Fonte: ET-ADGV-DefesaFT (Versão 1.0 - Fevereiro 2015). ....	41
Tabela 12 - Lista de Coordenadas dos Vértices do Controle de Qualidade (HV's). ....	43
Tabela 13 - Resumo da análise de Qualidade para Planimetria. ....	45
Tabela 14 - Resumo da análise de Qualidade para Altimetria. ....	47
Tabela 15 - Lista de Coordenadas dos Eixos das Seções Topobatimétricas de Controle. ....	75
Tabela 16 - Lista de Coordenadas dos Vértices Implantados para as SC's. ....	83



## 1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O Relatório Técnico faz menção ao Apoio de Campo (Serviços Topográficos) necessário à Atualização das Curvas Cota x Área x Volume, esses serviços são caracterizados como sendo de auxílio à geração de produtos finais da Geodésia, Cartografia, Aerolevantamento, Mapeamento e Cadastro. Ele foi precedido de um planejamento voltado ao atendimento do grau de qualidade desejado para cada trabalho. O Apoio de Campo (Serviços Topográficos) depende da finalidade de cada projeto (qualidade exigida), da região em que está inserido, dos recursos disponíveis, do prazo de execução e dos objetivos do projeto.

O presente relatório tem a finalidade de apresentar os resultados dos serviços realizados para Atualização das Curvas Cota x Área x Volume do Reservatório da UHE - ITAÚBA.

Os serviços foram realizados no Estado do Rio Grande do Sul, em cumprimento do Contrato de Prestação de Serviços S/N de 01/04/2019, firmado entre as COMPANHIA ESTADUAL DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – CEEE – GT e a TOPOCART Topografia Engenharia e Aerolevantamentos S/S Ltda.

Para Atualização das Curvas Cota x Área x Volume serão realizados levantamentos batimétricos na área do reservatório da UHE - ITAÚBA (dentro trecho indicado pelo Cliente constante da Especificação Técnica CEEE-GT) e geração dos resultados das Curvas CAV, preconizados na Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 1/2014/AA-ANA, conforme as *“Orientações para atualização das curvas cota x área x volume / Agência Nacional de Águas (ANA); Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. - Brasília: ANA, SGH, 2013”*.

Os produtos finais da Atualização das Curvas CAV possibilitarão a obtenção dos dados consolidados do mapeamento do reservatório (parte seca e molhada) da UHE - ITAÚBA, com qualidade compatível para conhecimento, análises, operação e aproveitamento do potencial hidrelétrico desse empreendimento.

### 1.1. Objetivo Geral

O presente relatório descreve a etapa de Apoio de Campo (Serviços Topográficos) e tem como objetivo detalhar os procedimentos operacionais e os critérios técnicos utilizados na aquisição, processamento e ajustamento dos dados levantados nas referidas etapas.

Também é objetivo do trabalho descrever o formato da disponibilização das informações relativas ao Apoio de Campo a fim de facilitar o acesso, a recuperação e a análise dos produtos gerados nessas etapas.

## 1.2. Objetivo Específico

Geração de peças técnicas em suporte à Atualização das Curvas CAV e atendimento da Resolução 003 ANA/ANEEL:

- Implantação da Rede de Vértices Geodésicos (RVG) para o Reservatório;
- Nivelamento Geométrico da RVG para o Reservatório;
- Elaboração do Modelo de Ondulação Geoidal Local;
- Determinação dos Pontos de Controle de Qualidade para validação da Base Cartográfica Existente;
- Levantamento Batimétrico;
- Modelo Digital do Terreno;
- Curvas Cota x Área x Volume; e
- Seções Topobatimétricas de Controle

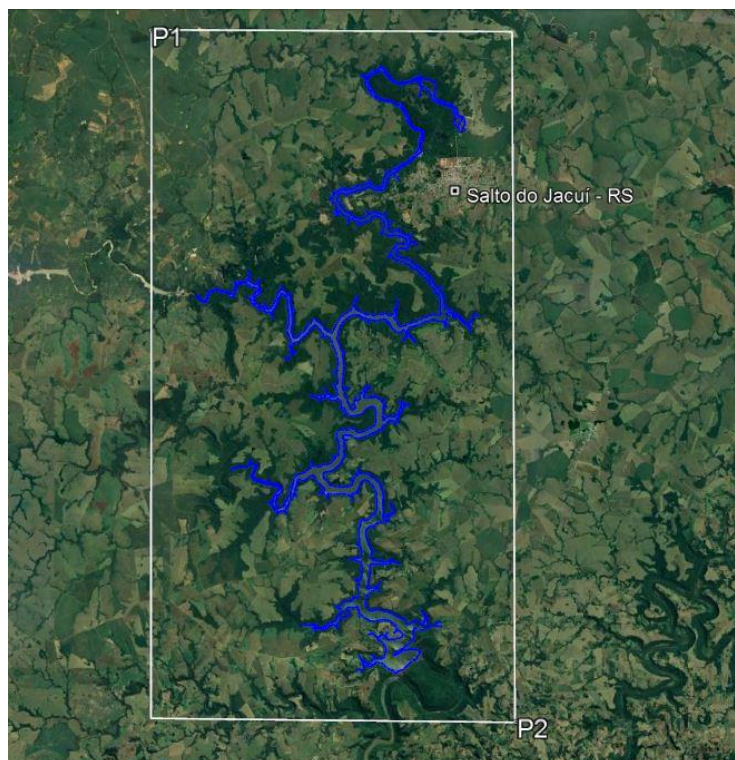
## 1.3. Localização da Área

A área do projeto está compreendida no entorno do reservatório da UHE ITAÚBA no Estado do Rio Grande do Sul, os levantamentos realizados são destinados à Atualização das Curvas CAV.

O barramento da UHE - ITAÚBA é situado no curso médio do Rio Jacuí, no entorno da Salto do Jacuí-RS.

A represa formada pela barragem se estende acima do barramento por aproximadamente 45,0 km pelo Rio Jacuí, 7,0km pelo Rio Ivaí, os serviços aqui indicados consideram essa localização conforme descrição da Especificação Técnica da CEEE-GT.

Os pontos P1 (29°02'15.88"S; 53°19'58.55"O) e P2 (29°16'37.74"S; 53°11'17.57"O) definem o enquadramento que engloba a área.



*Figura 1 - Localização da Área do Reservatório da UHE - ITAÚBA.*

## **2. SERVIÇOS EXECUTADOS**

### **2.1. Implantação da RVG para o Reservatório**

- Identificação e utilização de 4 estações (POAL, RSCL, RSPF e SMAR) da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), pertencente a Rede Planialtimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro;
- Implantação de 10 marcos de concreto como vértices planialtimétricos como parte da RVG para as UHE's Passo Real, Itaúba e Itaúba que estão na mesma cascata: PA01, PA02, PA03, PA04, PA05, PA06, PA07, PA09, PA20 e PA23; e
- Utilização (rastreo) de 15 vértices já existentes para composição da RVG: RN1799S (PA09), RN1799N (PA10), RN1799P (PA11), RN1799R (PA12), RN1799T (PA13), RN1799Z (PA14), RN2100C (PA15), RN2100S (PA16), RN2100T (PA17), RN2100V (PA18), RN2100E (PA19), e M052 (PA21), M141 (PA22), MA-C (PA24) e MA-A (PA25).

### **2.2. Nivelamento Geométrico**

- Identificação e utilização de 3 estações de referência de nível (2100V, 2100E e 1799R), pertencentes a Rede Altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro, como sendo vértices de referência.
- Nivelamento e contra nivelamento geométrico (conforme preconizado nas Orientações da ANA/ANEEL) para transporte da referência de altitude ortométrica a partir da RN2100V, localizada no município de Alto Alegre, passando pelos PA's e com fechamento na RN2100E, situada no trevo na cidade de Salto do Jacuí-RS com 139,8km de extensão, a partir da RN2100E passando pelos marcos localizados no barramento da UHE – Passo Real com 22,8km de extensão e a partir da RN1799R passando pelos marcos localizados na UHE – Itaúba com 5,1km de extensão; totalizando uma extensão útil de 167,6 km.

### **2.3. Elaboração do Modelo de Ondulação Geoidal Local**

- Identificação, implantação e utilização de 25 vértices com conhecimento da Ondulação Geoidal Real (vértices que foram nivelados e rastreados) são eles: PA01, PA02, PA03, PA04, PA05, PA06, PA07, PA08, PA09=1799S, PA10=1799N, PA11=1799P, PA12=1799R, PA13=1799T, PA14=1799Z, PA15=2100C, PA16=2100S, PA17=2100T, PA18=2100V, PA19=2100E, PA20, PA21=M052, PA22=M141, PA23, PA24=MA-C e PA25=MA-A, sendo utilizados 16 para Confecção e 9 para Aferição; e Elaboração do Modelo de Ondulação Geoidal Local, com área 1.484,85 km<sup>2</sup> para determinação das Altitudes Ortométricas para qualquer ponto dentro da área de interesse.

### **2.4. Determinação dos Pontos de Controle de Qualidade para Validação da Base Cartográfica Existente**

- Determinação e utilização de vértices foto identificáveis para o Controle de Qualidade da Base Cartográfica existente:
  - 59 HV's

## **2.5. Levantamento Batimétrico**

- Levantamento Batimétrico do Reservatório da UHE - ITAÚBA, totalizando aproximadamente 5,3 km<sup>2</sup> com emprego de ecobatímetro de feixe único com levantamentos no corpo principal, braços, afluentes e canais do reservatório efetivados por linhas regulares de sondagem (LS) equidistantes, dispostas de forma transversal e longitudinal.

## **2.6. Modelo Digital do Terreno**

- Geração da Superfície Digital baseada na malha de pontos coletada, contendo as informações da modelagem do terreno para área útil do Reservatório da UHE - ITAÚBA.

## **2.7. Curvas Cota x Área x Volume**

- Geração das Curvas “Cota x Área” e “Cota x Volume” obtidos pela variação da posição de um plano de corte, a cada 50 cm, desde a cota mínima até o nível operacional normal do reservatório.

## **2.8. Seções Topobatimétricas de Controle**

- As Seções Topobatimétricas de Controle para o monitoramento do assoreamento do reservatório foram levantadas considerando as partes secas e molhadas dos alinhamentos e totalizaram 2,0 km. As distâncias abaixo totalizam os quantitativos levantados para cada Seção:
  - S1: 777,374 m;
  - S2: 702,917 m;
  - S3: 560,203m;

## **2.9. Considerações Gerais**

Na execução dos trabalhos foram observadas todas as premissas constantes na ET da CEEE – GT e ainda Normas Técnicas e Padronizações pertinentes à realização de cada fase dos serviços dentre as quais se citam os seguintes documentos técnicos:

- Norma Técnica “Orientações para atualização das curvas cota x área x volume / Agência Nacional de Águas (ANA); Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. - Brasília: ANA, SGH, 2013”;
- Para os trabalhos de Topografia foi observada a NBR13.133. Esta Norma fixa as condições exigíveis para a execução de Levantamentos Topográficos Gerais;
- Para Levantamentos Geodésicos foi empregada a Resolução nº 22 - Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em Território Brasileiro (21/julho/1983) publicado pelo Boletim de Serviço do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE;
- Para Levantamentos Batimétricos foram observadas as Especificações da OHI para Levantamentos Hidrográficos (5a Edição, Fevereiro de 2008, publicação Especial Nº 44) Versão original em inglês publicada pelo Bureau Hidrográfico Internacional – MÔNACO e

Versão traduzida para o português publicado pela Diretoria de Hidrografia e Navegação - BRASIL;

- Para Levantamentos Batimétricos foram empregadas as Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos - NORMAM-25/DHN de 2018, publicado pela Marinha do Brasil - Diretoria de Hidrografia e Navegação;
- Para estruturação de dados foram levadas em conta às Normas publicadas pela Comissão Nacional de Cartografia – CONCAR, homologada pela resolução 01/2006; e
- Finalmente, referente às precisões dos produtos finais, naturalmente, será atendido ao disposto no Decreto nº 89.817 de 20 de Junho de 1984 que estabelece as instruções reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.

A TOPOCART disponibilizou a sua estrutura de produção para diligências e verificações in loco pela CEEE - GT, com o objetivo de constatação do andamento e progresso das atividades realizadas, dos recursos tecnológicos e humanos alocados, além de disponibilizar os meios necessários para facilitar a fiscalização dos trabalhos em execução em campo e no escritório.



### 3. REFERENCIAIS PLANIALTIMÉTRICOS ADOTADOS

Na execução dos levantamentos realizados, assim como nas demais etapas que compõem o referido projeto, foram observadas todas as premissas constantes na Especificação Técnicas e Normas Técnicas adotadas. Essas premissas, quando confrontadas com os trabalhos em campo e escritório, resultaram na obtenção de coordenadas geodésicas tridimensionais para geração dos produtos finais de cada etapa realizada.

Todas as informações foram amarradas à Rede Geodésica Oficial utilizada para levantamentos cartográficos e geodésicos no país.

#### 3.1. Sistema Geodésico Empregado

##### 3.1.1. Referencial Geodésico

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

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

##### 3.1.1.1. SIRGAS 2000

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

### **3.1.2. Referencial Altimétrico**

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

O Referencial utilizado é do Reajustamento da Rede Altimétrica realizado em 2018.

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

## **3.2. Identificação e Distribuição**

### **3.2.1. Vértices de Referência**

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

#### **Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do Sistema Geodésico Brasileiro**

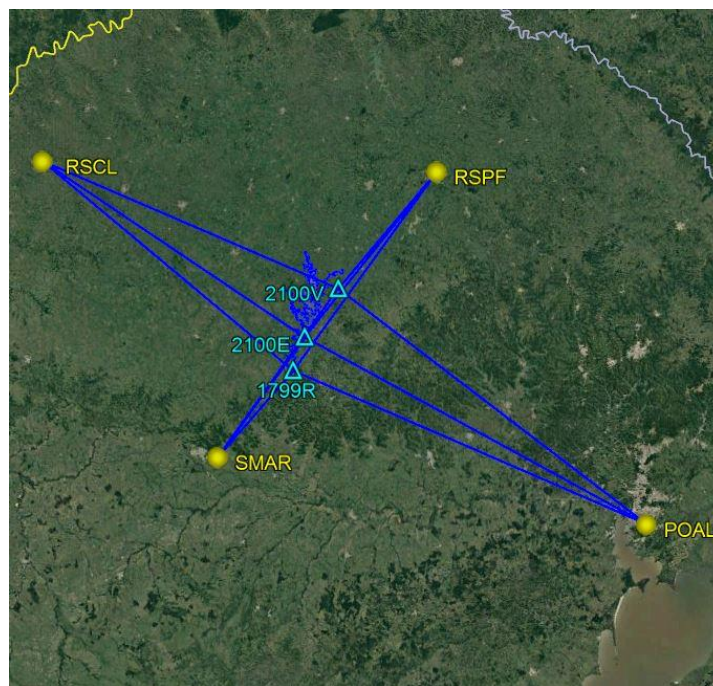
- POAL (Porto Alegre-RS) – SAT91850
- RSCL (Cerro Largo-RS) – SAT94053
- RSPF (Passo Fundo-RS) – SAT96254
- SMAR (Santa Maria-RS) – SAT92013

#### **Rede Altimétrica (RN's) do Sistema Geodésico Brasileiro, Reajustadas em 2018**

- RN2100V
- RN2100E
- RN1799R

Os Vértices de Referência utilizados são apresentados na Figura abaixo.





*Figura 2 - Vértices de Referência utilizados.*

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

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

No **Anexo 2A** são apresentadas as Monografias Oficiais dos vértices utilizados para o Apoio da RVG. A Tabela a seguir mostra as coordenadas dos Vértices Referência Oficiais.

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

SISTEMA DE REFERÊNCIA SIRGAS 2000,4 / DATUM VERTICAL IMBITUBA-SC (Ajuste 2018)										
Vértice	Fuso	COORDENADAS UTM				COORDENADAS GEODÉSICAS				Altitude Ortométrica (m)
		Este (m)	$\sigma$	Norte (m)	$\sigma$	Latitude (° ' ")	Longitude (° ' ")	Altitude Geométrica (m)	$\sigma$	
POAL	-22	488457,544	0,002	6673004,054	0,001	S30°04'26,55276"	O51°07'11,15324"	76,745	0,002	-
RSCL	-21	720499,463	0,002	6885042,263	0,002	S28°08'30,76928"	O54°45'17,13341"	280,904	0,009	-
RSPF	-22	363552,300	0,001	6876741,701	0,001	S28°13'41,30338"	O52°23'26,23283"	710,742	0,004	-
SMAR	-22	237205,247	0,001	6709269,527	0,001	S29°43'08,12599"	O53°42'59,73531"	113,107	0,001	-
2100V		-	-	-	-	-	-	-	-	479,3390
2100E		-	-	-	-	-	-	-	-	340,6040
1799R		-	-	-	-	-	-	-	-	286,0789

### 3.3. Diferença Referencial Altimétrico IBGE x CEEE

Como parte do escopo dos serviços é previsto a consolidação da batimetria à cartografia existente e consequente geração da Base Cartográfica Atualizada (e única) nos Sistema de Referência SIRGAS2000 (época 2000,4) e Datum Altimétrico de Imituba-SC com os referenciais planimétricos e altimétricos atualizados conforme SGB (incluindo o Reajustamento da Rede Altimétrica de 2018).

Para compormos o  $\Delta H$  relativo à diferença altimétrica entre o Referencial Antigo, utilizado na UHE - ITAÚBA (utilizado durante a etapa de Levantamento Aerofotogramétrico em 2003 pela CEEE GT – Companhia Estadual de Energia Elétrica do Rio Grande do Sul) e o Referencial Atual (SGB-IBGE Reajustamento 2018) foram utilizados pontos com medições (altitudes ortométricas) nos 2 Referenciais.

Tabela 2 - Diferenças dos Referenciais CEEE (etapas de Lev. Aerofot.) x IBGE (2018).

Vértice (RN)	CEEE – GT (2003)	IBGE 2018	$\Delta H$
2100D	322,654	322,633	-0,0208
2100G	370,032	371,013	-0,0187
2100V	479,353	479,339	-0,0140
1799S	187,210	187,258	+0,0481

Após análise dos resultados, foram consideradas as RNs 2100D, 2100G e 2100V por estarem na mesma faixa de diferença apresentada, sendo a RN 1799S descartada por estar divergente das demais referencias de nível.

Para realizar a conversão de qualquer cota obtida (considerada) no Referencial Antigo para o Referencial Atual é preciso somar a constante -0,0178 m.

Como exemplo, é apresentado conversão da cota do reservatório normal e máxima maximorum:

- Cota Normal
  - CEEE-GT do Lev. Aerofotogramétrico de 2003/2013 (Referencial Antigo): 183,450m
  - **IBGE 2018 (Referencial Atual): 183,432m**
- Cota Máxima Máxima Maximorum
  - CEEE-GT do Lev. Aerofotogramétrico de 2003/2013: 184,850m
  - **Referencial Atual (IBGE 2018): 184,832m**

## 4. IMPLANTAÇÃO DA REDE DE VÉRTICES GEODÉSICOS - RVG

### 4.1. Transporte de Coordenadas para o PA04, PA15=2100C e PA17=2100T

Para realização dos levantamentos geodésicos foi realizado o transporte de coordenadas para o vértice de referência local, denominado PA04, PA15=2100C, PA17=2100T. Posteriormente desse vértice para os outros pertencentes à RVG.

O local para implantação do vértice foi escolhido estrategicamente, contemplando a proximidade do reservatório e seções. A materialização do vértice foi realizada em local protegido, buscando a segurança contra alterações urbanísticas e vandalismos.

Os vértices são apresentados na Figura a seguir com a distância base máxima (30 km) para os rastreios dos marcos da RVG.

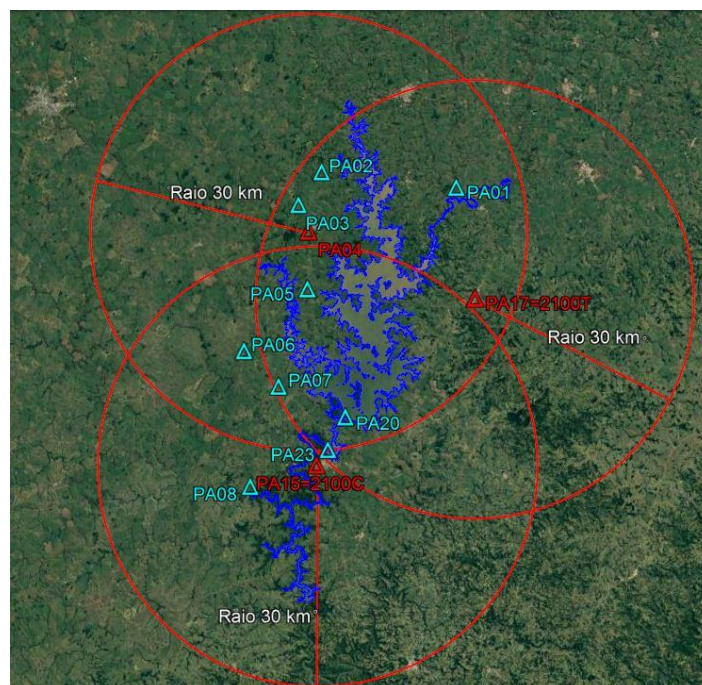


Figura 3 - Vértices Implantados/Reocupados como Referência Local.

O vértice foi monumentado com marco de concreto armado na forma tronco piramidal no formato 18 x 30 cm, com 40 cm de altura, aflorando cerca de 10 cm do solo, no topo está cravada uma chapa metálica não ferrosa e resistente a intempéries e, de forma, circular de raio de 3 cm com centro para um ponto topográfico, com inscrições:

- na parte superior a expressão “TOPOCART”;
- na parte central o nome do marco;
- na parte inferior a expressão “Protegido por Lei”.

As Figuras abaixo mostram as dimensões do marco implantado e ainda uma fotografia do PA04 materializado em campo.

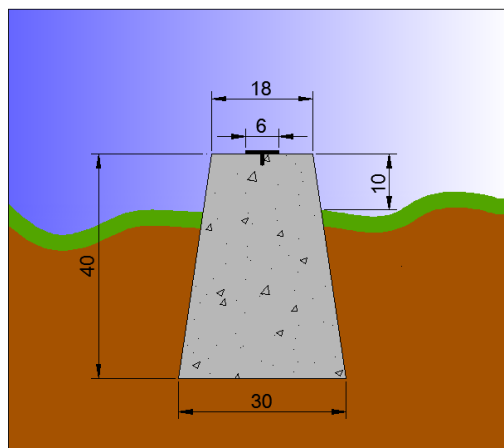


Figura 4 - Modelo com dimensões do marcos implantados.



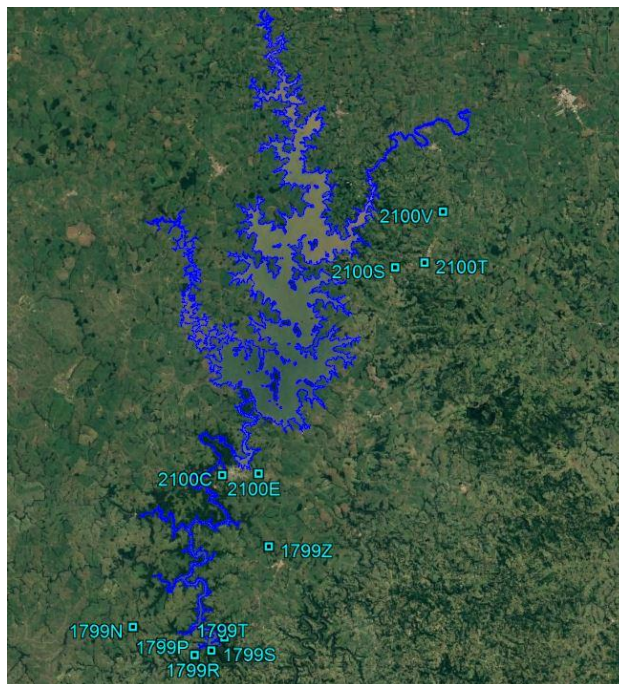
Figura 5 - Fotografia do PA04.

#### 4.2. Vértices da RVG

A implantação da RVG de marcos se deu em atendimento às Orientações para Atualização das Curvas CAV em específico ao item de “*Implantação da Rede Vértices Geodésicos (RVG)*”.

Inicialmente foram levantadas as informações da Rede Altimétrica do SGB-IBGE da região e foram localizadas as seguintes RN's: 1799S, 1799N, 1799P, 1799R (Pinhal Grande-RS), 1799T, 1799Z (Estrela Velha-RS), 2100C, 2100E (Salto do Jacuí-RS), 2100S, 2100T (Campos Borges-RS) e 2100V (Alto Alegre-RS). Na Figura abaixo é apresentada a localização das RN's.





*Figura 6 - Distribuição das RN's nas proximidades do Reservatório.*

Foi levantada uma Rede de Vértices Geodésicos com 25 marcos de concreto nas proximidades dos reservatórios de Passo Real, Itaúba e Itaúba de maneira que o rastreamento GNSS, o Nivelamento Geométrico e o Modelo Geoidal Local a sejam executados em recobrimento desses vértices respeitando o preconizado na Norma da ANA/ANEEL.

A partir dos Vértices de Referência PA04, PA15=2100C e PA17=2100T, foram rastreados os vértices da RVG realizando o transporte de coordenadas para cada um deles.

Os locais para implantação dos vértices foram escolhidos contemplando todo o reservatório e o caminhamento do nivelamento geométrico realizado. Foram monumentados 10 vértices com a nomenclatura PA (Ponto de Apoio) precedida do número no sentido crescente. Além desses, também foram reocupados 11 vértices existentes da rede de RN do SGB – Sistema Geodésico Brasileiro do IBGE e 4 vértices existentes dos marcos da CEEE – GT para composição da RVG.

Foram definidos os seguintes vértices:

- PA01;
- PA02;
- PA03;
- PA04;
- PA05;
- PA06;
- PA07;
- PA08;
- PA09=1799S;

- PA10=1799N;
- PA11=1799P;
- PA12=1799R;
- PA13=1799T;
- PA14=1799Z;
- PA15=2100C;
- PA16=2100S;
- PA17=2100T;
- PA18=2100V;
- PA19=2100E;
- PA20;
- PA21=M052;
- PA22=M141;
- PA23;
- PA24=MA-C; e
- PA25=MA-A.

A Figura a seguir espacializa os Vértices da RVG, totalizando 25 vértices.

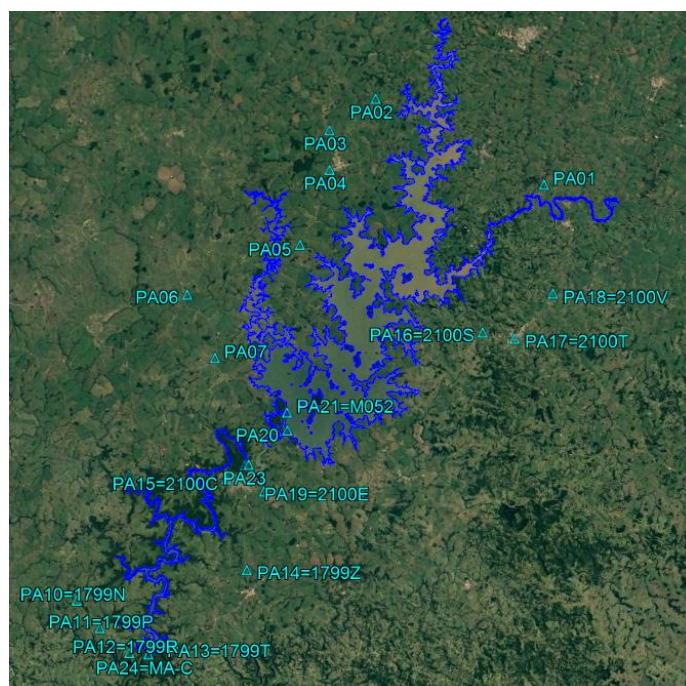


Figura 7 - RVG levantada para os reservatórios de Passo Real, Itaúba e Itaúba.

Os vértices foram monumentados conforme descrição no tópico “3.2.2. Apoio Básico” em específico nos quesitos: dimensões e padrão de marcos implantados (Figura 4). Todos os Registros Fotográficos dos vértices da RVG encontram-se no **Anexo 2D**.

### 4.3. Levantamento, Processamento e Ajustamento

A descrição da metodologia utilizada para o Levantamento, Processamento e Ajustamento das observações oriundas dos rastreios GNSS são aplicadas para todas as etapas que foram necessárias coletas de pontos através de receptores GNSS (Vértices do Modelo Geoidal Local, Pontos de Controle de Qualidade, Seções Topobatimétricas de Controle, outros).

#### 4.3.1. Rastreios GNSS

##### 4.3.1.1. Levantamento dos Vértices

Todos os vértices foram referenciados à Rede Geodésica de Primeira ordem do IBGE e foram ocupados por receptores geodésicos GNSS de dupla frequência L1/L2.

O método adotado para a determinação das coordenadas tridimensionais de cada vértice foi o de posicionamento relativo estático, com uso de 4 (quatro) Vértices de Referência para o transporte de coordenadas do PA04, PA015=2100C e PA17=2100T e para os demais vértices da RVG foi utilizado 1 (um) Vértice de Referência.

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

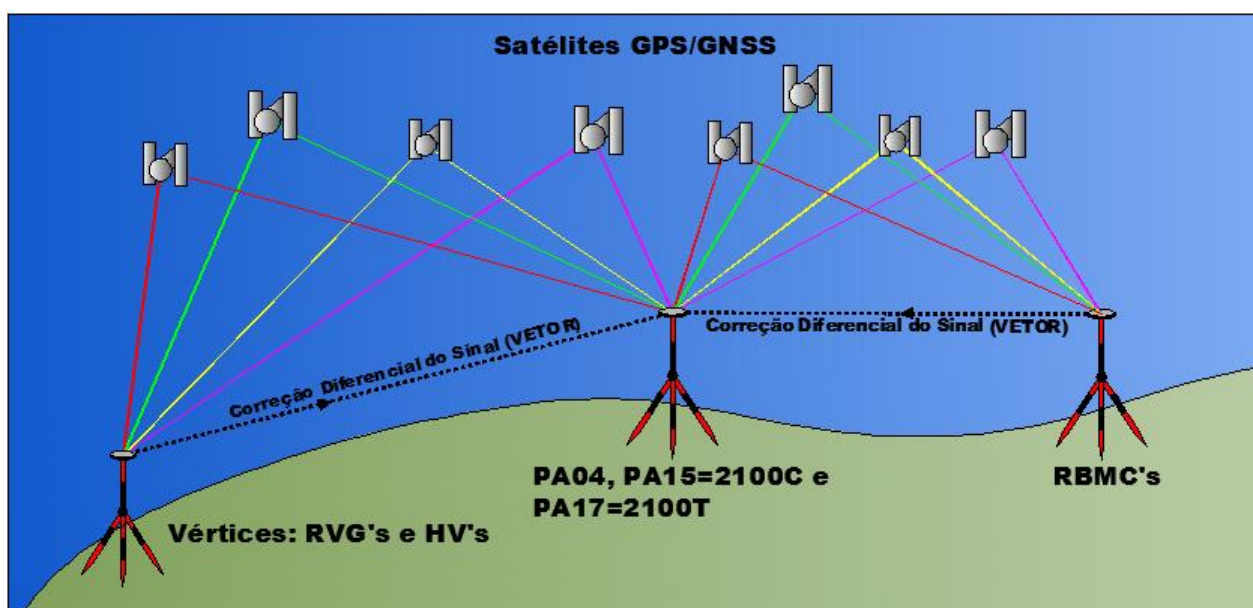


Figura 8 - Exemplo da metodologia de posicionamento GNSS empregado.

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

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

- Tempo de rastreamento mínimo para fixação das ambiguidades e obtenção da solução aceitável para qualidade dos vetores. Para os vértices da RVG foram utilizadas 2 sessões de rastreio com 2 horas cada;
- Informações das órbitas dos satélites (Precisas, Rápidas ou Transmitidas) quando necessárias;
- Máscara de elevação não inferior a 10°;
- Utilização de 4 (quatro) Vértices de Referência para o transporte de coordenadas do PA04, PA15=2100C e PA17=2100T;
- Utilização dos vértices PA04, PA15=2100C e PA17=2100T, como Vértice de Referência Local para o transporte de coordenadas dos Vértices das Seções Topobatimétricas;
- Sistema de Referência SIRGAS2000, para saída dos resultados;
- Intervalo de gravação não superior a 15 (quinze) segundos; e
- Menor número para os coeficientes de Diluição da Precisão - DOP da geometria dos satélites.

#### **4.3.1.2. Processamento e Ajustamento**

Os processamentos das determinações do Levantamento Geodésico foram realizados utilizando-se o software Trimble Business Center, versão 3.03, seguindo a descrição da metodologia e as especificações abaixo:

- Sistema de Referência SIRGAS2000, para processamento, ajustamento e entrega dos resultados;
- Por limitações do software utilizado, o processamento não considerou os valores de Sigma a Priori do Vértice de Referência. Sendo assim, o software no processamento admite como absolutas as coordenadas do Vértice de Referência;
- Utilização de vetores independentes;
- Os ruídos resultantes dos rastreios dos satélites foram avaliados e eliminados quando os mesmos influenciavam significativamente na média da dispersão dos sinais rastreados; e
- O processamento foi desenvolvido adotando a metodologia Iono Free Fixed para linhas de base menores do que 50 km e Iono Free Float para linhas de base maiores do que 50 km

No processamento dos vetores foram analisadas as precisões de linhas de base obtidas. Após o ajustamento das observações, como fatores limitantes, foram aceitos apenas os valores de precisões pontuais não superiores a superior a 5 cm nas componentes horizontais e 10 cm na altitude geométrica.

#### **4.4. Resultados Obtidos**

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

*Tabela 3 - Lista de Coordenadas dos Vértices da RVG.*



SISTEMA DE REFERÊNCIA SIRGAS 2000,4 / DATUM VERTICAL IMBITUBA-SC (Ajuste 2018)									
Vértice	COORDENADAS UTM - F22S				COORDENADAS GEODÉSICAS				Altitude Ortométrica (m)
	Este (m)	$\sigma$	Norte (m)	$\sigma$	Latitude (° ' ")	Longitude (° ' ")	Altitude Geométrica (m)	$\sigma$	
PA01	302156,865	0,016	6818075,804	0,012	S28°44'58,47006"	O53°01'34,14595"	343,545	0,051	334,8256
PA02	283641,909	0,012	6819891,535	0,014	S28°43'48,80375"	O53°12'55,11482"	423,742	0,052	414,9842
PA03	280536,456	0,013	6815362,241	0,013	S28°46'13,97966"	O53°14'52,66230"	446,091	0,039	437,2962
PA04	281981,880	0,000	6811749,743	0,000	S28°48'12,16029"	O53°14'01,89688"	429,963	0,000	421,131
PA05	281965,530	0,016	6803878,652	0,017	S28°52'27,72032"	O53°14'07,96312"	385,164	0,048	376,239
PA06	273412,845	0,016	6795308,975	0,016	S28°57'00,61541"	O53°19'29,64934"	425,275	0,049	416,2121
PA07	278236,066	0,009	6790530,076	0,011	S28°59'38,82096"	O53°16'35,00387"	397,288	0,036	388,278
PA08	274580,189	0,010	6776794,213	0,009	S29°07'02,47165"	O53°18'59,97793"	326,600	0,028	317,490
PA09=1799S	282775,195	0,007	6761096,682	0,009	S29°15'37,27819"	O53°14'08,02734"	196,245	0,031	187,2200
PA10=1799N	274274,858	0,008	6763472,066	0,009	S29°14'14,79138"	O53°19'21,00574"	391,312	0,029	382,2039
PA11=1799P	277384,933	0,008	6761784,403	0,008	S29°15'11,56986"	O53°17'27,10431"	356,113	0,023	347,0739
PA12=1799R	280978,007	0,007	6760579,448	0,008	S29°15'52,95323"	O53°15'14,93786"	295,044	0,022	286,0789
PA13=1799T	284156,285	0,022	6762523,582	0,025	S29°14'51,80285"	O53°13'15,88954"	308,181	0,060	299,1661
PA14=1799Z	288777,311	0,006	6772351,643	0,006	S29°09'35,50780"	O53°10'18,07510"	345,076	0,019	336,1380
PA15=2100C	283626,858	0,000	6779897,194	0,000	S29°05'27,38893"	O53°13'23,31982"	314,836	0,000	305,742
PA16=2100S	301839,187	0,017	6802422,669	0,019	S28°53'26,61221"	O53°01'55,71832"	496,945	0,055	488,1569
PA17=2100T	304990,236	0,000	6802989,520	0,000	S28°53'09,94447"	O52°59'59,09371"	522,546	0,000	513,783
PA18=2100V	306874,815	0,018	6808468,688	0,019	S28°50'13,03752"	O52°58'46,18306"	488,093	0,062	479,3390
PA19=2100E	287536,259	0,006	6780126,773	0,006	S29°05'22,30885"	O53°10'58,64722"	349,528	0,018	340,6040
PA20	287479,516	0,005	6786512,236	0,004	S29°01'54,94177"	O53°10'56,37555"	339,829	0,014	330,9408
PA21=M052	286809,443	0,008	6788137,264	0,008	S29°01'01,77482"	O53°11'20,01826"	339,678	0,025	330,7681
PA22=M141	284822,434	0,006	6781819,616	0,006	S29°04'25,70083"	O53°12'37,79123"	294,287	0,020	285,3007
PA23	285161,164	0,008	6782015,915	0,009	S29°04'19,53335"	O53°12'25,13601"	293,100	0,029	284,1019
PA24=MA-C	282789,261	0,007	6761127,500	0,007	S29°15'36,28631"	O53°14'07,48478"	197,207	0,021	188,182
PA25=MA-A	282662,420	0,009	6761144,904	0,009	S29°15'35,64267"	O53°14'12,16887"	197,508	0,027	188,519

#### 4.5. Produtos Entregues na Etapa de Implantação da RVG

- 1) Arquivo do Google Earth contendo distribuição espacial dos vértices utilizados, no formato \*.KMZ, contido no Anexo 1;
- 2) Monografias Oficiais SGB (IBGE), Referências Geodésicas de todo trabalho, no formato \*.PDF, contidas no Anexo 2A;
- 3) Monografias detalhadas dos vértices implantados para RVG, no formato \*.PDF, contidas no Anexo 2B;
- 4) Planilha de coordenadas contendo informações dos Vértices apresentadas em Coordenadas Geodésicas e no Sistema UTM, no referencial SIRGAS2000, no formato \*.PDF, contidas no Anexo 2C;
- 5) Registros Fotográficos dos Vértices implantados, no formato \*.JPEG, contidos no Anexo 2D;

- 6) Relatórios técnicos de Processamento e Ajustamento dos dados GNSS, no formato \*.PDF, contidos no Anexo 2E;
- 7) Dados digitais do sistema de coleta do receptor (dados de rastreo), contidos no Anexo 2F;
  - i. Arquivos Rinex II e originais dos vértices ocupados;
  - ii. Planilha de campo contendo as informações realizadas no rastreo, no formato \*.PDF.

## 5. NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

O transporte de altitudes foi executado em 3 (três) Circuitos de Nivelamento com amarração nos vértices de Referência Altimétrica do SGB, Reajustados em 2018. Estes Circuitos foram constituídos de Pontos de Segurança (PS's) materializados por piquetes de madeira, pinos de aços materializados no solo e/ou ainda pelos vértices implantados em toda a área de interesse.

A Figura abaixo espacializa o Circuito executado.

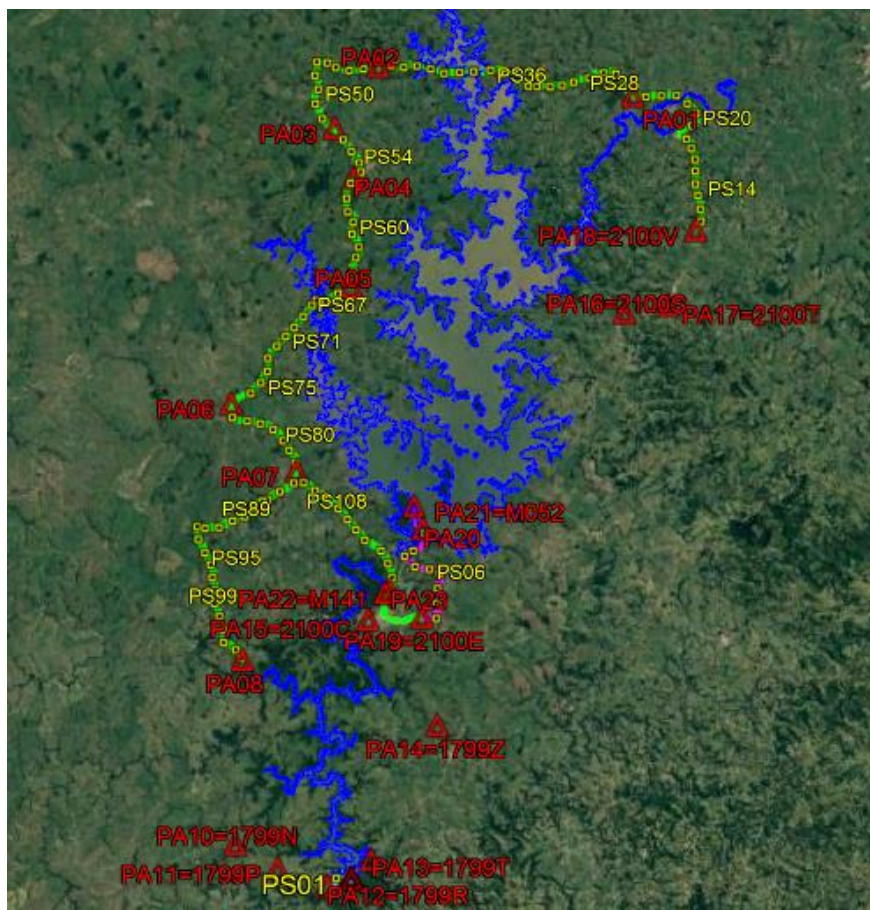


Figura 9 - Circuitos de Nivelamento executado.

O levantamento consiste em utilizar um equipamento (Nível Topográfico) que materializa um plano de visada ortogonal ao Geoide. Este equipamento executa leituras em duas miras graduadas idênticas, uma a ré e outra a vante estipulando assim a diferença de nível para os pontos nas bases das duas miras. Este procedimento é realizado num caminhamento consecutivo e a diferença de nível entre dois pontos é definida pelo somatório das diferenças de nível encontradas em cada lance ou seção.

Como exemplo, na Figura abaixo, a diferença de nível entre P0 e P3 é obtida pela soma das diferenças de nível encontradas nas seções S01 e S02.

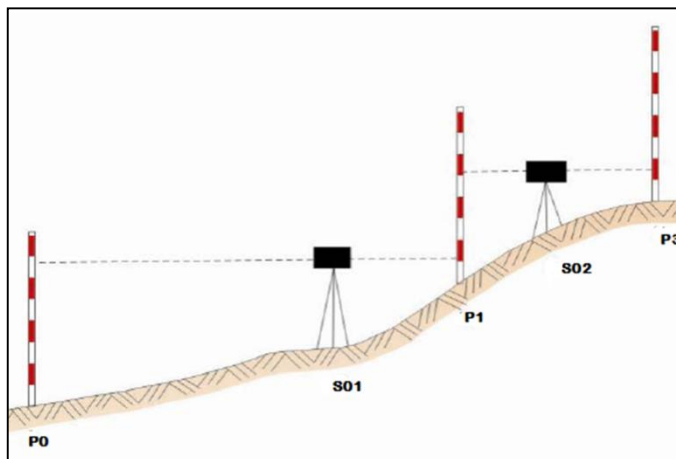


Figura 10 - Metodologia de Nivelamento Geométrico utilizado.

A precisão esperada para o nivelamento geométrico é calculado em função da distância percorrida em cada linha. A seguinte fórmula foi utilizada:

$$Erro = 3mm\sqrt{K}$$

Onde K é a distância percorrida no Circuito de nivelamento em quilômetros.

As seções de leituras foram realizadas em duplicidade, executando medidas na sequência Ré/Vante. Durante todo processo efetuava-se uma mudança na posição do aparelho sem mudar a posição das miras e então eram feitas novas leituras na sequência Vante/Ré.

No título abaixo são apresentados os resumos do Circuito de Nivelamento Geométrico executado.

### 5.1. Circuito 1: 2100V / 2100E

O Circuito 1 teve início na RN2100V, passando pela PA01, PA02, PA03, PA04, M010, PA05, PA06, PA07, PA07, PA08, PA23, PA22=M141 com fechamento na referência de nível de chegada RN2100E.

### 5.2. Circuito 1: 2100E / 2100E

O Circuito 2 teve início na RN2100E, passando pela PA19=2100E, PA21=M052, PA20=M051 com fechamento na mesma referência de nível de partida.

### 5.3. Circuito 1: 1799R / 1799R

O Circuito 3 teve início na RN1799R, passando pela PA12, PA25=MA-A, PA24=MA-C com fechamento na mesma referência de nível de partida.

### 5.4. Resultados Obtidos

#### 5.4.1. Circuito de Nivelamento Realizado

As Tabelas abaixo descrevem um resumo dos circuitos com as informações dos pontos de partida, chegada e suas respectivas altitudes ortométricas além da distância percorrida pelo nivelamento, o erro máximo permitido para a tolerância especificada e o erro de fechamento do nivelamento.

Tabela 4 - Resumo do Circuito 1, Nivelamento Geométrico.

Circuito 01		TRECHO: RN2100V - RN2100E			
PARTIDA:	PONTO	COTA	CHEGADA:	PONTO	COTA
	PA18=2100V	479,3390		PA22=M141	285,2669
Distancia: 139779,2	Tolerância( 03 mmVK): 0,0355			Erro:	-0,0349
Obs.: Todas as medidas em metros, exceto quando indicado,					
Distância percorrida p/ nivelamento e contra: 139,8 km					
Tolerância de fechamento (03 mmVK) = 35,5 mm					
Conclusão: Nivelamento atende as precisões estabelecidas para classe					

Tabela 5 - Resumo do Circuito 2, Nivelamento Geométrico.

Circuito 02		TRECHO: RN2100E - RN2100E			
PARTIDA:	PONTO	COTA	CHEGADA:	PONTO	COTA
	PA19=2100E	340,6040		PA19=2100E	340,6020
Distancia: 22762,5	Tolerância( 03 mmvK): 0,0143			Erro:	-0,0020
Obs,: Todas as medidas em metros, exceto quando indicado,					
Distância percorrida p/ nivelamento e contra: 22,8 km					
Tolerância de fechamento (03 mmvK) = 14,3 mm					
Conclusão: Nivelamento atende as precisões estabelecidas para classe					

Tabela 6 - Resumo do Circuito 2, Nivelamento Geométrico.

Circuito 03			TRECHO: RN1799R - RN1799R		
PARTIDA:	PONTO	COTA	CHEGADA:	PONTO	COTA
	PA12	286,0789		PA12	286,0729
Distancia:	5092,2	Tolerância( 03 mmVK):		0,0068	Erro: -0,0060
Obs,: Todas as medidas em metros, exceto quando indicado,					
Distância percorrida p/ nivelamento e contra: 5,1 km					
Tolerância de fechamento (03 mmVK) = 6,8 mm					
Conclusão: Nivelamento atende as precisões estabelecidas para classe					

### 5.5. Produtos Entregues na Etapa do Nivelamento Geométrico

- 1) Arquivo do Google Earth contendo distribuição espacial dos vértices utilizados, no formato \*.KMZ, contido no Anexo 1;
- 2) Monografias Oficiais SGB (IBGE), Referências Geodésicas de todo trabalho, no formato \*.PDF, contidas no Anexo 2A;
- 3) Monografias detalhadas dos vértices implantados e nivelados para RVG, no formato \*.PDF, contidas no Anexo 2B;
- 4) Planilha de coordenadas contendo informações dos Vértices apresentadas em Coordenadas Geodésicas e no Sistema UTM com a indicação da Altitude Ortométrica, no Datum Vertical de Imbituba-SC, no formato \*.PDF, contidas no Anexo 2C;
- 5) Relatórios técnicos de Processamento e Ajustamento do Nivelamento Geométrico, no formato \*.PDF, contidos no Anexo 3A;
- 6) Dados digitais do sistema de coleta do Nível Topográfico, contidos no Anexo 3B;
  - i. Arquivos originais dos vértices ocupados;
  - ii. Planilha de campo contendo as informações dos dados coletados, no formato \*.PDF;
- 7) Registros Fotográficos dos Pontos Nivelados, no formato \*.JPEG, contidos no Anexo 3C.



## 6. MODELO GEOIDAL LOCAL - MGL

Na etapa de confecção do Modelo de Ondulação Geoidal Local foram evidenciadas as informações consequentes das diferenças entre as Altitudes Elipsoidais dos Levantamentos Geodésicos (vértices RVG) e as Altitudes Ortométricas dos mesmos vértices obtidas a partir do nivelamento geométrico, resultando no conhecimento das Ondulações Geoidais - N e a partir delas a densificação dessa grandeza para toda área do projeto.

A etapa consiste na obtenção das ondulações geoidais de todos os pontos utilizados no referido projeto. Para os pontos nivelados e ocupados por receptores GNSS temos o cálculo direto da ondulação e para os outros foi feita a interpolação a partir do Modelo Geoidal Local gerado.

### 6.1. Ondulação Geoidal

Para a confecção do Modelo Geoidal Local foram utilizados os RVG's e PS's, localizados na área do projeto. As Ondulações Geoidais desses vértices foram calculadas a partir das altitudes geométricas e ortométricas, através da seguinte equação aproximada:

$$H = h - N$$

Onde:

H= Altitude Ortométrica;

h= Altitude Geométrica;

N= Ondulação Geoidal

A Figura abaixo ilustra a obtenção da Altitude Ortométrica.

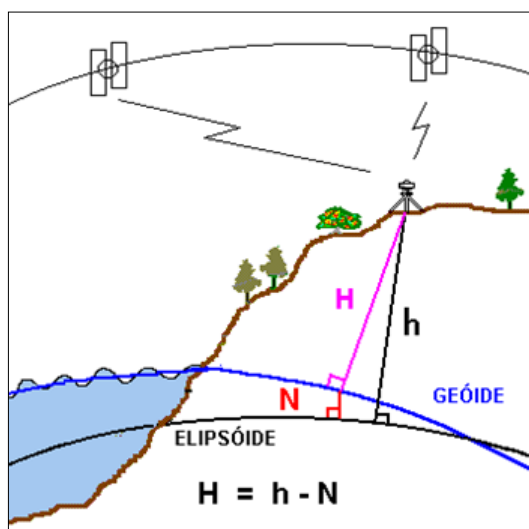


Figura 11 - Ondulação Geoidal. Fonte: IBGE.

## 6.2. Vértices do MGL

Os vértices utilizados para composição do Modelo Geoidal Local são aqueles que foram rastreados por receptores GNSS e tiveram sua altitude ortométrica obtida pelo nivelamento geométrico.

Foram utilizados 16 vértices da RVG exclusivamente para geração do MGL. Os locais para implantação dos mesmos foram escolhidos estrategicamente, contemplando as duas margens do reservatório, a existência de acessos para realização do nivelamento geométrico e ainda a disposição de cada vértice de maneira a recobrir toda área de interesse.

Os vértices utilizados foram: PA01, PA02, PA03, PA05, PA06, PA07, PA08, PA23, PA10=1799N, PA11=1799P, PA13=1799T, PA14=1799Z, PA17=2100T, PA18=2100V, PA21=M052, PA24=MA-C.

Os vértices utilizados para o Modelo Geoidal Local são apresentados na Figura abaixo. Todos os Registros Fotográficos dos PS's rastreados encontram-se no **Anexo 4C**.

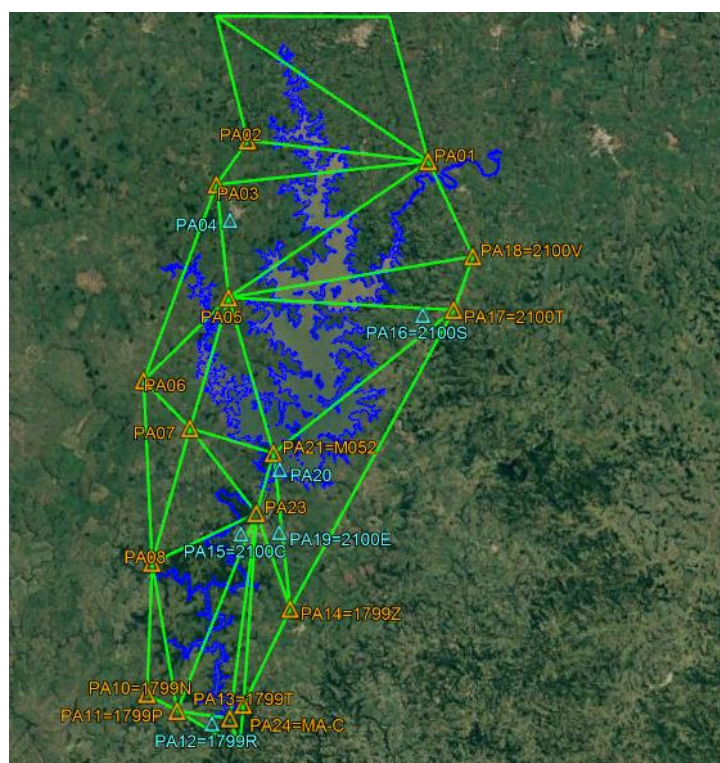


Figura 12 - Vértices de Confecção do Modelo Geoidal Local (laranja) e Aferição (azul ciano).

## 6.3. Processamento dos Vértices do MGL

O processamento dos vértices do MGL foi realizado conforme descrição metodológica explicitada no **Capítulo 3.3 Levantamento, Processamento e Ajustamento**.

A Tabela a seguir apresenta os valores das ondulações geoidais obtidas para cada vértice.



Tabela 7 - Vértices utilizados no MGL.

<b>SISTEMA DE REFERÊNCIA SIRGAS 2000,4 / DATUM VERTICAL IMBITUBA-SC (Ajuste 2018)</b>					
<b>Vértice</b>	<b>COORDENADAS UTM - F22S</b>			<b>Altitude Ortométrica (m)</b>	<b>Ondulação Geoidal (m)</b>
	<b>Este (m)</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Altitude Geométrica (m)</b>		
PA01	302156,865	6818075,804	343,545	334,826	8,719
PA02	283641,909	6819891,535	423,742	414,984	8,758
PA03	280536,456	6815362,241	446,091	437,296	8,795
PA05	281965,530	6803878,652	385,164	376,239	8,925
PA06	273412,845	6795308,975	425,275	416,212	9,063
PA07	278236,066	6790530,076	397,288	388,278	9,010
PA08	274580,189	6776794,213	326,600	317,490	9,110
PA23	285161,164	6782015,915	293,100	284,102	8,998
PA10=1799N	274274,858	6763472,066	391,312	382,204	9,108
PA11=1799P	277384,933	6761784,403	356,113	347,074	9,039
PA13=1799T	284156,285	6762523,582	308,181	299,166	9,015
PA14=1799Z	288777,311	6772351,643	345,076	336,138	8,938
PA17=2100T	304990,236	6802989,520	522,546	513,783	8,763
PA18=2100V	306874,815	6808468,688	488,093	479,339	8,754
PA21=M052	286809,443	6788137,264	339,678	330,768	8,910
PA24=MA-C	282789,261	6761127,500	197,207	188,182	9,025
MGL1	280222,425	6832548,249	-	-	8,650
MGL2	297906,006	6832737,594	-	-	8,540
MGL3	283796,674	6758152,897	-	-	9,030

Os vértices MGL1, MGL2 e MGL3 são vértices virtuais criados para prolongamento das isolinhas do MGL. Os demais vértices que tiveram as grandezas (h e H) conhecidas foram utilizados para validação do MGL e são apresentados no tópico posterior.

#### 6.4. Interpolador Polinomial

O conjunto de vértices com Ondulação Geoidal determinada foi utilizado para composição de uma Superfície Geoidal local através do método de Interpolação de Polinômios.

A Interpolação consistiu em determinar uma função (polinômios), que assumisse valores conhecidos em certos pontos experimentados, chamados “*nós de interpolação*” (nesse caso as Ondulações Geoidais conhecidas). Basicamente as funções interpoladoras foram determinadas por um número finito de parâmetros igual ao número de condições impostas, para obtenção de apenas uma solução. A Figura a seguir ilustra a formação do polinômio  $p(N_i) = f_i$  para  $i = 0, \dots, n$ .



A Figura a seguir mostra o Modelo Geoidal Local gerado para o projeto.



O Modelo Geoidal Local apresenta uma diferença de 0,54 m quando analisados os valores da ondulação dos extremos no sentido leste-oeste, ou seja, existe uma variação de até 0,54 m na ondulação geoidal dentro do limite do reservatório da UHE - PASSO REAL, UHE - ITAÚBA e UHE - JACUÍ.

No **Anexo 4A** é apresentado o Modelo Geoidal Local e os vértices utilizados para sua composição, no **Anexo 4B** é apresentado a Superfície do MGL no formato GEOTIFF.

## 6.6. Resultados Obtidos

### 6.6.1. Análise do Modelo de Ondulação Geoidal Local

Para aferir o Modelo de Ondulação Geoidal Local foram extraídas as Alturas (ou Ondulações) Geoidais de todos os vértices da RVG que não foram utilizados na geração no Modelo Geoidal Local (N Modelo) e que tiveram suas altitudes ortométricas definidas por nivelamento geométrico e comparadas com as ondulações geoidais calculadas (N Nivelamento) para avaliação do comportamento do Modelo Geoidal Local.

Foram utilizados 19 vértices para composição do MGL e 9 vértices para validação.

Os resultados encontrados (variações de -0,07 m a +0,08 m) estão apresentados na Tabela a seguir e atenderam a precisão necessária aos serviços realizados.

Tabela 8 - Diferenças de Ondulação Geoidal ( $\Delta$ ) para o N (Nivelamento Geométrico) x N (MGL).

SISTEMA DE REFERÊNCIA SIRGAS 2000,4 / DATUM VERTICAL IMBITUBA-SC (Ajuste 2018)					
Vértice	COORDENADAS UTM - F22S		Ondulação Geoidal Nivelamento Geométrico (m)	Ondulação Geoidal MGL (m)	$\Delta$ (m)
	Este (m)	Norte (m)			
PA04	281981,880	6811749,743	8,833	8,834	-0,001
PA20	287479,516	6786512,236	8,888	8,910	-0,022
PA09=1799S	282775,195	6761096,682	9,025	9,025	0,000
PA12=1799R	280978,007	6760579,448	8,965	9,032	-0,067
PA15=2100C	283626,858	6779897,194	9,094	9,011	0,083
PA16=2100S	301839,187	6802422,669	8,788	8,786	0,002
PA19=2100E	287536,259	6780126,773	8,924	8,933	-0,009
PA22=M141	284822,434	6781819,616	8,986	9,002	-0,016
PA25=MA-A	282662,420	6761144,904	8,989	9,025	-0,036
Média					-0,007
Mediana					-0,009
Desvio padrão					0,040
Mínimo					-0,067
Máximo					0,083

A qualidade do Modelo Geoidal Local está diretamente ligada à qualidade dos resultados obtidos nos Rastreios GNSS e do Nivelamento Geométrico. Nos rastreios GNSS as precisões das

Altitudes Geométricas foram na média de 3,7 cm. Para os resultados do Nivelamento Geométrico temos o atendimento dos  $3mm \times \sqrt{K}$  para o circuitos, consolidando uma média ponderada de 3,0 cm. Diante dessas constantes, atribui-se ao MGL uma acurácia de  $\pm 4,7$  cm em relação às componentes Altitudes Geométrica e Ortométrica, concluindo que o Modelo Geoidal Local atende às necessidades finais da Especificação Técnica e do referido projeto.

### 6.6.2. Comparação MGL x MAPGEO2015 V1

Foi realizada uma comparação das ondulações geoidais derivadas do Modelo Geoidal Local com aquelas obtidas do IBGE MAPGEO2015 V1. A análise visa conhecimento da precisão das informações do IBGE MAPGEO2015 V1 na região.

Ressalta-se que o Modelo Geoidal Local é que será utilizado para obtenção das ondulações geoidais e consequentes Altitudes Ortométricas de trabalho de Atualização das Curvas CAV e para quaisquer necessidades oriundas de pontos coletados por receptores GNSS.

Tabela 9 - Comparação das Ondulações Geoidais MGL x IBGE MAPGEO 2015 V1.

SISTEMA DE REFERÊNCIA SIRGAS 2000,4 / DATUM VERTICAL IMBITUBA-SC (Ajuste 2018)					
COORDENADAS UTM - F22S					
Vértice	Este (m)	Norte (m)	Ondulação Geoidal MGL (m)	Ondulação Geoidal MAPGEO 2015 V1 (m)	$\Delta$ (m)
PA01	302156,865	6818075,804	8,72	8,45	0,27
PA02	283641,909	6819891,535	8,76	8,56	0,20
PA03	280536,456	6815362,241	8,80	8,65	0,15
PA04	281981,880	6811749,743	8,83	8,69	0,14
PA05	281965,530	6803878,652	8,93	8,77	0,16
PA06	273412,845	6795308,975	9,06	8,94	0,12
PA07	278236,066	6790530,076	9,01	8,88	0,13
PA08	274580,189	6776794,213	9,11	8,97	0,14
PA20	287479,516	6786512,236	8,91	8,77	0,14
PA23	285161,164	6782015,915	9,00	8,82	0,18
PA09=1799S	282775,195	6761096,682	9,03	8,90	0,13
PA10=1799N	274274,858	6763472,066	9,11	8,99	0,12
PA11=1799P	277384,933	6761784,403	9,04	8,96	0,08
PA12=1799R	280978,007	6760579,448	9,03	8,92	0,11
PA13=1799T	284156,285	6762523,582	9,02	8,89	0,13
PA14=1799Z	288777,311	6772351,643	8,94	8,83	0,11
PA15=2100C	283626,858	6779897,194	9,01	8,85	0,16
PA16=2100S	301839,187	6802422,669	8,79	8,60	0,19
PA17=2100T	304990,236	6802989,520	8,76	8,60	0,16
PA18=2100V	306874,815	6808468,688	8,75	8,54	0,21
PA19=2100E	287536,259	6780126,773	8,93	8,80	0,13
PA21=M052	286809,443	6788137,264	8,91	8,77	0,14

<b>SISTEMA DE REFERÊNCIA SIRGAS 2000,4 / DATUM VERTICAL IMBITUBA-SC (Ajuste 2018)</b>					
<b>COORDENADAS UTM - F22S</b>					
<b>Vértice</b>	<b>Este (m)</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Ondulação Geoidal MGL (m)</b>	<b>Ondulação Geoidal MAPGEO 2015 V1 (m)</b>	<b>Δ (m)</b>
PA22=M141	284822,434	6781819,616	9,00	8,82	0,18
PA24=MA-C	282789,261	6761127,500	9,03	8,90	0,13
PA25=MA-A	282662,420	6761144,904	9,03	8,90	0,13
Média					0,15
Mediana					0,14
Desvio padrão					0,04
Mínimo					0,08
Máximo					0,27

Verifica-se que as diferenças nas áreas do reservatório ficam em torno de +0,15 m, entre o MGL e o MAPGEO 2015 V1.

#### **6.7. Produtos Entregues na Etapa do MGL**

- 1) Arquivo do Google Earth contendo distribuição espacial dos vértices utilizados, no formato \*.KMZ, contido no Anexo 1;
- 2) Modelo Geoidal Local, contendo as isolinhas das ondulações geoidais, no formato \*.DWG, contido no Anexo 4A;
- 3) Superfície do Modelo Geoidal Local, no formato \*.GEOTIFF, contido no Anexo 4B;
- 4) Registros Fotográficos dos Vértices implantados, no formato \*.JPEG, contidos no Anexo 4C;
- 5) Relatórios técnicos de Processamento e Ajustamento dos dados GNSS, no formato \*.PDF, contidos no Anexo 4D;
- 6) Dados digitais do sistema de coleta do receptor (dados de rastreo), contidos no Anexo 4E;
  - i. Arquivos Rinex II e originais dos vértices ocupados;
  - ii. Planilha de campo contendo as informações realizadas no rastreo, no formato \*.PDF.
- 7) Planilha de coordenadas contendo informações dos Vértices utilizados em Coordenadas Geodésicas e no Sistema UTM, no referencial SIRGAS2000, no formato \*.PDF, contidas no Anexo 4F.

## **7. CONTROLE DE QUALIDADE DA BASE CARTOGRÁFICA EXISTENTE**

### **7.1. Metodologia**

A metodologia descrita a seguir foi utilizada para a validação da Base Cartográfica Existente que contempla as envoltórias do reservatório área molhada e seca.

A Base Cartográfica Existente está na escala 1:10.000, buscou-se no presente trabalho realizar o controle de qualidade da mesma em atendimento ao mínimo Padrão de Exatidão Cartográfica Digital da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais Planialtimétrico Classe B para escala 1:10.000.

Devido à falta de densidade regular dos pontos existentes em 2019 para Levantamento GNSS a serem selecionados no decorrer das UHE's em cascata no Rio Jacuí, a análise do controle de qualidade considera os 3 Reservatórios em conjunto (UHE - Passo Real, UHE - Itaúba e UHE – Jacuí), priorizando os pontos das margens dos reservatórios e também da cidade de Salto do Jacuí-RS.

O Controle de Qualidade (CQ) da Base Cartográfica preexistente foi realizado seguindo os critérios descritos no documento de orientação da ANA/ANEEL, levando-se em consideração as seguintes características:

- Seleção e utilização de 59 pontos, bem definidos, no mapa vetorial e nas ortofotos para controle planimétrico e altimétrico;
- Pontos estão bem distribuídos na área de abrangência do voo/restituição, conformando uma boa geometria espacial;
- Os rastreios GNSS foram realizados com receptores de dupla frequência, com duas horas de ocupação, observados a coleta de dados simultânea de 6 satélites naqueles períodos de rastreio, PDOP inferior a 4, posicionamento relativo estático, e precisão nominal superior ou igual a 5mm+1ppm;
- 1 sessão de ocupação com tempo de rastreio de 40 minutos;
- Foi utilizado como referência o marco implantado na RVG: PA02, PA04, PA05, PA15, PA16, PA20 e PA22;
- Para os casos de ortofotos, efetuou-se sobre a cartografia preexistente, uma série de 3 leituras das coordenadas dos pontos levantados em campo, calculando média e desvio padrão. Para a base vetorial foi utilizado as coordenadas do ponto de comparação;
- Análise estatística de tendência e precisão alinhada conforme o Padrão de Exatidão Cartográfica Digital da Infraestrutura de Dados Espaciais (INDE), PEC-PCD, com classificação da cartografia conforme resultados observados;
- A partir dos resultados obtidos, efetuar o enquadramento do PEC-PCD para a cartografia analisada, no mínimo Classe B para escala 1:10.000.

Os levantamentos realizados seguiram as descrições acima indicadas e contemplaram a metodologia de levantamento GNSS já mencionada nos tópicos anteriores.



## 7.2. Coleta dos Pontos de Controle de Qualidade

Os pontos de Controle de Qualidade da Base Cartográfica Existente são aqueles destinados a validar a Cartografia existente. Essa etapa consiste na obtenção de pontos medidos no terreno que serão identificados no mapeamento existente e posterior validação da base cartográfica.

A coleta de pontos foi feita por receptores GNSS, onde os pontos planimétricos (H) coincidiram com os pontos altimétricos (V), compondo assim os vértices utilizados no controle de qualidade.

Os pontos foram coletados seguindo as nomenclaturas:

- HV (Horizontal/Vertical) para os pontos foto identificáveis coletados sobre a superfície natural;

As Figuras a seguir mostram exemplos de HV. Todos os Registros Fotográficos dos HV's encontram-se no **Anexo 5C**.



*Figura 15 - Exemplo da coleta de HV's.*

A Figura a seguir mostra a distribuição dos pontos HV's utilizados no projeto.

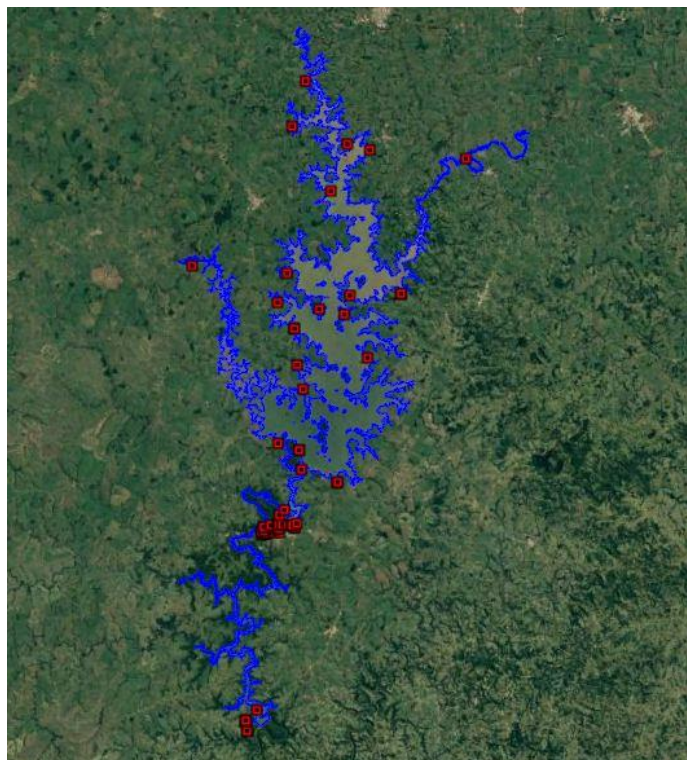


Figura 16 - Distribuição dos HV's.

### 7.3. Processamento dos Pontos de Controle de Qualidade

O processamento dos Pontos de Controle de Qualidade foi realizado conforme descrição metodológica explicitada no **Capítulo 3.3 Levantamento, Processamento e Ajustamento**.

### 7.4. Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD)

Regulamentado no Decreto Nº 89.817 de 20 de Junho de 1984, o PEC estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Brasileira, através de procedimentos e padrões a serem obedecidos na elaboração e apresentação de documentos cartográficos no território brasileiro. A norma especifica que as cartas obedecerão ao Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC, segundo os critérios indicados:

- Numa carta, os pontos testados e bem definidos no terreno, 90% não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica, Planimétrico, estabelecido;
- 90% dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica, Altimétrico, estabelecido.

O PEC-PCD foi instuído pela normatização da INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais) em específico na ET-ADGV. Para o PEC-PCD o nível de exatidão posicional do atributo Geometria de um objeto geoespacial depende diretamente da exatidão posicional esperada para um



produto cartográfico. Assim, o processo de aquisição deve gerar uma geometria com exatidão posicional igual, ou superior, à do produto cartográfico final. A exatidão na aquisição é igual a do produto cartográfico digital final, pois, após a aquisição vetorial de um elemento qualquer, sua geometria não é mais alterada nos processos posteriores.

Para que um produto digital possa ser aceito como produto de Referência do SCN, e consequentemente para a INDE, a exemplo do previsto para o PEC (produtos impressos em papel), noventa por cento (90% ou  $1,6449 \cdot EP$ ) dos erros dos pontos coletados no produto cartográfico, quando comparados com as suas coordenadas levantadas em campo por método de alta precisão, devem apresentar os valores iguais ou inferiores aos previstos ao PEC-PCD, devendo ainda apresentar os valores de EP também iguais ou inferiores aos previstos nas tabelas do presente tópico. As escalas abrangidas para esse projeto são: 1:2.000; 1:5.000; 1:10.000. Os produtos digitais foram classificados em 4 (quatro) classes ("A", "B", "C" e "D"), tendo como norteador o Decreto 89.817, de 20 de junho de 1984.

A seguir são apresentados os valores referentes ao PEC-PCD, os valores são propostos para os produtos digitais produzidos após a publicação da ET-PCDG e complementam os estabelecidos, para produtos impressos, no Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984.

*Tabela 10 - Critérios do PEC-PCD Planimétrico. Fonte: ET-ADGV-DefesaFT (Versão 1.0 - Fevereiro 2015).*

PEC	PEC - PCD	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000		1:25.000		1:50.000		1:100.000		1:250.000	
		PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP
-	A	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85	2,80	1,70	7,00	4,25	14,00	8,51	28,00	17,02	70,00	42,55
A	B	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50	5,00	3,00	12,50	7,50	25,00	15,00	50,00	30,00	125,00	75,00
B	C	0,80	0,50	1,60	1,00	4,00	2,50	8,00	5,00	20,00	12,50	40,00	25,00	80,00	50,00	200,00	125,00
C	D	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00	10,00	6,00	25,00	15,00	50,00	30,00	100,00	60,00	250,00	150,00

*Tabela 11 - Critérios do PEC-PCD Altimétrico dos Pontos Cotados, MDT e MDS. Fonte: ET-ADGV-DefesaFT (Versão 1.0 - Fevereiro 2015).*

PEC (1)	PEC - PCD	1:1.000 (Eqd=1 m)		1:2.000 (Eqd=1 m)		1:5.000 (Eqd=2 m)		1:10.000 (Eqd=5 m)		1:25.000 (Eqd=10 m)		1:50.000 (Eqd=20 m)		1:100.000 (Eqd=50 m)		1:250.000 (Eqd=100 m)	
		PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP	PEC	EP
A	A	0,27	0,17	0,27	0,17	0,54	0,34	1,35	0,84	2,70	1,67	5,50	3,33	13,70	8,33	27,00	16,67
B	B	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,66	2,50	1,67	5,00	3,33	10,00	6,66	25,00	16,66	50,00	33,33
C	C	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80	3,00	2,00	6,00	4,00	12,00	8,00	30,00	20,00	60,00	40,00
-	D	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00	3,75	2,50	7,50	5,00	15,00	10,00	37,50	25,00	75,00	50,00

Todas as unidades são apresentadas em metros.

## 7.5. Levantamentos dos Pontos de Controle de Qualidade

Foram levantados 59 pontos para análise. Esses pontos compõem a amostra a ser usada como referência na Análise da Precisão Cartográfica. A espacialização desses pontos na área visa atender

o padrão de distribuição disperso, o que torna a amostra estatisticamente significativa e não tendenciosa ao comportamento de uma determinada porção de área. Os pontos foram ocupados por receptores GNSS geodésicos de dupla frequência L1/L2, de modo a garantir as precisões requeridas para o teste de qualidade.

Abaixo é apresentada fotografia (exemplo) de HV identificado em campo e seus homólogos na Base Cartográfica Existente.



*Figura 17 - Pontos de Controle de Qualidade: CAMPO x BASE CARTOGRÁFICA.*

O planejamento dos pontos buscou selecionar homoganeamente toda área abrangida pelo mapeamento.

Alguns destes pontos tiveram sua identificação planimétrica prejudicada por faltar detalhe planimétrico como estrada/cerca ou qualquer outra feição foto identificável, ou seja, alteração do terreno dentro do período 2003 até 2019. Nestes casos o ponto foi usado para validar a Altimetria apenas.

A Figura a seguir mostra a distribuição dos pontos HV's utilizados para validação da Base Cartográfica Existente.

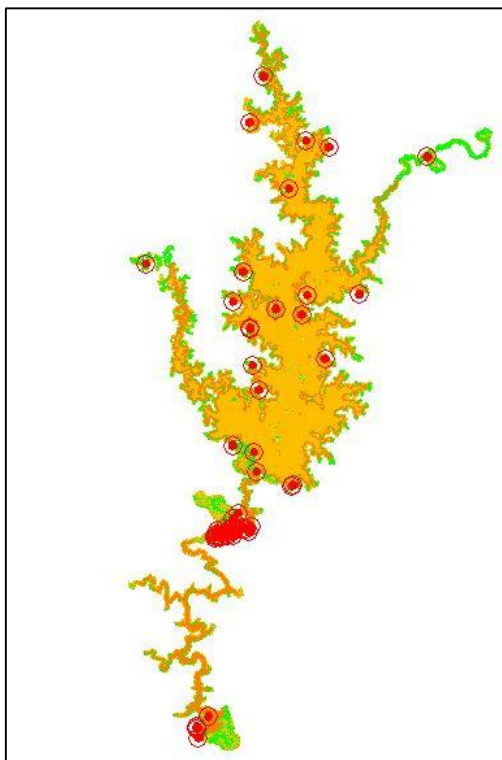


Figura 18 - Distribuição dos Pontos de Controle de Qualidade na Base Cartográfica.

## 7.6. Resultados Obtidos

### 7.6.1. Vértices do CQ da Base Cartográfica Existente

A Tabela abaixo apresenta as coordenadas dos pontos implantados de Controle de Qualidade utilizados neste trabalho.

Tabela 12 - Lista de Coordenadas dos Vértices do Controle de Qualidade (HV's).

SISTEMA DE REFERÊNCIA SIRGAS 2000,4 / DATUM VERTICAL IMBITUBA-SC (Ajuste 2018)									
Vértice	COORDENADAS UTM - F22S				COORDENADAS GEODÉSICAS				Altitude Ortométrica (m)
	Este (m)	$\sigma$	Norte (m)	$\sigma$	Latitude (° ' ")	Longitude (° ' ")	Altitude Geométrica (m)	$\sigma$	
HV01	290574,782	0,003	6785036,703	0,006	S29°02'44,69791"	O53°09'03,01188"	353,373	0,001	344,478
HV01A	290444,963	0,015	6784934,370	0,029	S29°02'47,94383"	O53°09'07,87784"	350,782	0,007	341,886
HV02	291920,496	0,005	6803360,202	0,013	S28°52'50,50956"	O53°08'01,07042"	341,317	0,005	332,462
HV02A	293606,522	0,047	6797215,614	0,032	S28°56'11,01572"	O53°07'02,91932"	337,454	0,007	328,603
HV03	291351,402	0,004	6801492,316	0,009	S28°53'50,82922"	O53°08'23,30989"	354,388	0,001	345,527
HV04	296958,310	0,005	6803493,176	0,010	S28°52'49,09960"	O53°04'55,12035"	349,468	0,001	340,648
HV04A	296945,176	0,012	6803441,786	0,027	S28°52'50,76087"	O53°04'55,63823"	352,663	0,003	343,843
HV05	303484,668	0,005	6816716,093	0,010	S28°45'43,35735"	O53°00'46,06418"	353,975	0,002	345,365
HV06	293996,868	0,008	6817643,536	0,023	S28°45'07,90502"	O53°06'35,10900"	341,690	0,004	332,946
HV07	286352,526	0,004	6820013,996	0,006	S28°43'46,45369"	O53°11'15,17702"	353,104	0,001	344,355
HV07A	287701,898	0,009	6824474,712	0,001	S28°41'22,40988"	O53°10'22,47275"	348,367	0,003	339,664

SISTEMA DE REFERÊNCIA SIRGAS 2000,4 / DATUM VERTICAL IMBITUBA-SC (Ajuste 2018)									
Vértice	COORDENADAS UTM - F22S				COORDENADAS GEODÉSICAS				Altitude Ortométrica (m)
	Este (m)	$\sigma$	Norte (m)	$\sigma$	Latitude (° ' ")	Longitude (° ' ")	Altitude Geométrica (m)	$\sigma$	
HV10	290129,120	0,005	6813634,678	0,010	S28°47'15,83274"	O53°09'00,29588"	342,714	0,002	333,919
HV12	276366,854	0,006	6806398,676	0,017	S28°51'02,42937"	O53°17'32,68724"	352,893	0,002	343,943
HV13	288884,187	0,004	6802035,262	0,008	S28°53'31,74433"	O53°09'53,98023"	352,862	0,002	343,984
HV13A	284758,520	0,008	6802716,638	0,014	S28°53'07,14937"	O53°12'25,73128"	335,813	0,003	326,906
HV14	286426,023	0,005	6800143,107	0,011	S28°54'31,71643"	O53°11'25,96696"	344,086	0,001	335,188
HV14A	286362,125	0,008	6800167,281	0,001	S28°54'30,89312"	O53°11'28,30839"	347,556	0,010	338,658
HV15A	286648,797	0,021	6796558,826	0,042	S28°56'28,23193"	O53°11'20,19148"	345,762	0,005	336,861
HV17	287225,348	0,005	6794184,026	0,009	S28°57'45,68755"	O53°11'00,52709"	341,638	0,001	332,738
HV19	291789,125	0,004	6818241,083	0,009	S28°44'47,22420"	O53°07'56,06560"	339,103	0,001	330,357
HV20	285721,730	0,005	6805590,771	0,010	S28°51'34,40690"	O53°11'48,23158"	346,870	0,002	337,977
HV21	286071,557	0,005	6780830,736	0,010	S29°04'58,56744"	O53°11'52,30554"	289,690	0,001	280,714
HV22	285053,752	0,002	6780918,257	0,004	S29°04'55,10777"	O53°12'29,86612"	320,916	0,000	311,917
HV23	284724,854	0,003	6780908,485	0,005	S29°04'55,22475"	O53°12'42,02984"	333,238	0,000	324,238
HV23A	284599,251	0,005	6780859,608	0,008	S29°04'56,73513"	O53°12'46,70635"	331,331	0,001	322,329
HV24	284785,152	0,009	6781834,034	0,016	S29°04'25,20999"	O53°12'39,15918"	291,554	0,001	282,552
HV24A	285287,335	0,005	6782335,053	0,009	S29°04'09,24794"	O53°12'20,25208"	310,364	0,003	301,372
HV25	282400,991	0,016	6762691,423	0,027	S29°14'45,26914"	O53°14'20,75440"	229,645	0,001	220,621
HV26	281427,062	0,007	6760628,677	0,013	S29°15'51,63519"	O53°14'58,27565"	310,384	0,002	301,354
HV27	284716,773	0,006	6788872,784	0,009	S29°00'36,62716"	O53°12'36,81228"	345,291	0,001	336,357
HV28	287000,233	0,004	6786280,675	0,008	S29°02'02,17234"	O53°11'14,24142"	312,124	0,001	303,209
HV28A	284810,236	0,003	6780121,711	0,008	S29°05'20,82235"	O53°12'39,41966"	322,132	0,001	313,131
HV29	286294,729	0,003	6780592,163	0,007	S29°05'06,44881"	O53°11'44,22071"	293,482	0,001	284,512
HV29A	286505,610	0,005	6780998,872	0,013	S29°04'53,37083"	O53°11'36,14580"	292,330	0,002	283,369
HV29B	286283,956	0,009	6780573,764	0,017	S29°05'07,03968"	O53°11'44,63158"	294,133	0,001	285,163
HV30	281306,279	0,006	6761680,491	0,015	S29°15'17,41054"	O53°15'01,99981"	207,158	0,002	198,130
HV30A	281274,239	0,005	6761711,123	0,011	S29°15'16,39602"	O53°15'03,16424"	209,335	0,002	200,307
HV30B	281310,581	0,006	6761512,198	0,010	S29°15'22,87721"	O53°15'01,96022"	212,296	0,002	203,267
HV31	283937,225	0,003	6780855,600	0,005	S29°04'56,46089"	O53°13'11,17936"	291,085	0,000	282,075
HV31A	284756,221	0,009	6780910,590	0,008	S29°04'55,17551"	O53°12'40,86896"	333,985	0,001	324,985
HV31B	284732,239	0,003	6780507,627	0,006	S29°05'08,24461"	O53°12'42,03499"	331,070	0,001	322,069
HV32	285643,015	0,003	6780856,337	0,005	S29°04'57,47635"	O53°12'08,12811"	289,801	0,001	280,812
HV32A	285964,694	0,013	6780794,513	0,017	S29°04'59,67880"	O53°11'56,28050"	291,557	0,002	282,578
HV33A	283460,866	0,002	6779981,190	0,004	S29°05'24,55994"	O53°13'29,39716"	319,675	0,001	310,662
HV34	286786,307	0,004	6788199,790	0,007	S29°00'59,73071"	O53°11'20,83006"	339,537	0,001	330,627
HV34N	286785,203	0,005	6788194,436	0,009	S29°00'59,90388"	O53°11'20,87452"	339,896	0,001	330,986
HV35	283579,889	0,006	6780085,001	0,004	S29°05'21,26231"	O53°13'24,92500"	305,999	0,000	296,987
HV35A	284327,426	0,005	6780391,551	0,008	S29°05'11,76646"	O53°12'57,07914"	320,469	0,000	311,465
HV36	283493,844	0,008	6780081,157	0,006	S29°05'21,33440"	O53°13'28,10831"	311,500	0,000	302,487
HV36A	284259,479	0,002	6780137,677	0,004	S29°05'19,96788"	O53°12'59,76734"	326,330	0,000	317,326
HV37	283222,879	0,007	6780021,374	0,009	S29°05'23,10921"	O53°13'38,16629"	324,342	0,001	315,326



<b>SISTEMA DE REFERÊNCIA SIRGAS 2000,4 / DATUM VERTICAL IMBITUBA-SC (Ajuste 2018)</b>									
<b>Vértice</b>	<b>COORDENADAS UTM - F22S</b>				<b>COORDENADAS GEODÉSICAS</b>				<b>Altitude Ortométrica (m)</b>
	<b>Este (m)</b>	<b><math>\sigma</math></b>	<b>Norte (m)</b>	<b><math>\sigma</math></b>	<b>Latitude (° ' ")</b>	<b>Longitude (° ' ")</b>	<b>Altitude Geométrica (m)</b>	<b><math>\sigma</math></b>	
HV37A	282997,935	0,003	6779889,236	0,009	S29°05'27,26132"	O53°13'46,57376"	319,370	0,000	310,352
HV37N	283188,771	0,002	6780015,863	0,004	S29°05'23,26718"	O53°13'39,43094"	323,123	0,000	314,107
HV38A	283001,505	0,004	6780227,225	0,008	S29°05'16,28956"	O53°13'46,20534"	310,547	0,000	301,528
HV38N	283267,432	0,005	6780302,705	0,007	S29°05'14,00218"	O53°13'36,32280"	317,170	0,000	308,154
HV39	283238,373	0,020	6780663,991	0,025	S29°05'02,25396"	O53°13'37,14445"	311,378	0,001	302,361
HV39A	283242,742	0,003	6780655,669	0,004	S29°05'02,52681"	O53°13'36,98878"	311,487	0,000	302,470
HV40	284280,066	0,004	6780617,693	0,007	S29°05'04,39499"	O53°12'58,67250"	313,162	0,000	304,157
HV40A	284218,067	0,004	6780599,469	0,004	S29°05'04,94881"	O53°13'00,97686"	309,831	0,000	300,825

Para os vértices HV05 e HV12 que estão fora da área do MGL, a obtenção da altitude ortométrica foi realizada utilizando o MAPGEO 2015 V1 somando-se a constante +0,15 m (diferença média de ondulação real para o MAPGEO 2015 V1).

### 7.6.2. Análise de Qualidade Planimétrica e Altimétrica

A distribuição dos pontos de checagem foi fundamentada de modo a abranger uma espacialização uniforme, englobando amostras em toda a área do projeto e em regiões passíveis de inconsistências. Os valores de conferência para a análise do material cartográfico são apresentados na Tabela a seguir.

Tabela 13 - Resumo da análise de Qualidade para Planimetria.

<b>PONTO</b>	<b>LEVANTAMENTO GNSS 2019</b>		<b>BASE CARTOGRÁFICA EXISTENTE 2003</b>		<b>RESIDUAIS</b>		
	<b>E</b>	<b>N</b>	<b>E</b>	<b>N</b>	<b><math>\Delta E</math></b>	<b><math>\Delta N</math></b>	<b><math>\Delta</math>Planimetria</b>
HV01	290574,782	6785036,703	290576,069	6785035,417	-1,29	1,29	1,82
HV01A	290444,963	6784934,370	-	-	-	-	-
HV02	291920,496	6803360,202	291921,272	6803361,141	-0,78	-0,94	1,22
HV02A	293606,522	6797215,614	-	-	-	-	-
HV03	291351,402	6801492,316	291348,163	6801490,160	3,24	2,16	3,89
HV04	296958,310	6803493,176	296959,780	6803493,436	-1,47	-0,26	1,49
HV04A	296945,176	6803441,786	-	-	-	-	-
HV05	303484,668	6816716,093	303485,901	6816715,680	-1,23	0,41	1,30
HV06	293996,868	6817643,536	293993,405	6817642,272	3,46	1,26	3,69
HV07	286352,526	6820013,996	286351,793	6820012,055	0,73	1,94	2,07
HV07A	287701,898	6824474,712	-	-	-	-	-
HV10	290129,120	6813634,678	290127,063	6813633,793	2,06	0,89	2,24
HV12	276366,854	6806398,676	276366,714	6806398,665	0,14	0,01	0,14
HV13	288884,187	6802035,262	288884,462	6802035,436	-0,27	-0,17	0,33
HV13A	284758,520	6802716,638	-	-	-	-	-



PONTO	LEVANTAMENTO GNSS 2019		BASE CARTOGRÁFICA EXISTENTE 2003		RESIDUAIS		
	E	N	E	N	ΔE	ΔN	ΔPlanimetria
HV14	286426,023	6800143,107	286426,446	6800140,848	-0,42	2,26	2,30
HV14A	286362,125	6800167,281	286361,706	6800166,109	0,42	1,17	1,24
HV15A	286648,797	6796558,826	286648,070	6796557,858	0,73	0,97	1,21
HV17	287225,348	6794184,026	287222,907	6794183,399	2,44	0,63	2,52
HV19	291789,125	6818241,083	291789,346	6818240,924	-0,22	0,16	0,27
HV20	285721,730	6805590,771	285722,736	6805588,420	-1,01	2,35	2,56
HV21	286071,557	6780830,736	-	-	-	-	-
HV22	285053,752	6780918,257	-	-	-	-	-
HV23	284724,854	6780908,485	-	-	-	-	-
HV23A	284599,251	6780859,608	-	-	-	-	-
HV24	284785,152	6781834,034	284783,547	6781833,310	1,61	0,72	1,76
HV24A	285287,335	6782335,053	285288,802	6782336,237	-1,47	-1,18	1,89
HV25	282400,991	6762691,423	282400,047	6762692,333	0,94	-0,91	1,31
HV26	281427,062	6760628,677	281427,040	6760627,476	0,02	1,20	1,20
HV27	284716,773	6788872,784	284717,332	6788872,001	-0,56	0,78	0,96
HV28	287000,233	6786280,675	287001,654	6786281,224	-1,42	-0,55	1,52
HV28A	284810,236	6780121,711	-	-	-	-	-
HV29	286294,729	6780592,163	-	-	-	-	-
HV29A	286505,610	6780998,872	-	-	-	-	-
HV29B	286283,956	6780573,764	-	-	-	-	-
HV30	281306,279	6761680,491	281307,106	6761681,499	-0,83	-1,01	1,30
HV30A	281274,239	6761711,123	-	-	-	-	-
HV30B	281310,581	6761512,198	-	-	-	-	-
HV31	283937,225	6780855,600	283933,859	6780856,497	3,37	-0,90	3,48
HV31A	284756,221	6780910,590	-	-	-	-	-
HV31B	284732,239	6780507,627	-	-	-	-	-
HV32	285643,015	6780856,337	285644,109	6780854,246	-1,09	2,09	2,36
HV32A	285964,694	6780794,513	-	-	-	-	-
HV33A	283460,866	6779981,190	-	-	-	-	-
HV34	286786,307	6788199,790	286784,475	6788196,797	1,83	2,99	3,51
HV34N	286785,203	6788194,436	-	-	-	-	-
HV35	283579,889	6780085,001	283579,853	6780085,832	0,04	-0,83	0,83
HV35A	284327,426	6780391,551	284327,629	6780389,620	-0,20	1,93	1,94
HV36	283493,844	6780081,157	283493,532	6780083,447	0,31	-2,29	2,31
HV36A	284259,479	6780137,677	284258,764	6780136,666	0,71	1,01	1,24
HV37	283222,879	6780021,374	283222,102	6780024,282	0,78	-2,91	3,01
HV37A	282997,935	6779889,236	282997,660	6779887,987	0,27	1,25	1,28
HV37N	283188,771	6780015,863	283188,011	6780016,038	0,76	-0,17	0,78
HV38A	283001,505	6780227,225	-	-	-	-	-
HV38N	283267,432	6780302,705	-	-	-	-	-
HV39	283238,373	6780663,991	283237,641	6780665,561	0,73	-1,57	1,73
HV39A	283242,742	6780655,669	-	-	-	-	-
HV40	284280,066	6780617,693	284279,821	6780618,351	0,25	-0,66	0,70
HV40A	284218,067	6780599,469	-	-	-	-	-

PONTO	LEVANTAMENTO GNSS 2019		BASE CARTOGRÁFICA EXISTENTE 2003		RESIDUAIS		
	E	N	E	N	ΔE	ΔN	ΔPlanimetria
			MÉDIA		0,36	0,38	1,02
			MÁXIMO		3,46	2,99	3,89
			MÍNIMO		-1,47	-2,91	0,00
			DESVIO PADRÃO		1,37	1,39	1,14
			Escala	Classes	PEC	EP	Classificação
	1:2.000		A		0,56	0,34	50%
			B		1,00	0,60	52%
	1:5.000		A		1,40	0,85	68%
			B		2,50	1,50	89%
	1:10.000		A		2,80	1,70	93%
			B		5,00	3,00	100%

Tabela 14 - Resumo da análise de Qualidade para Altimetria.

PONTO	LEVANTAMENTO GNSS 2019	BASE CARTOGRÁFICA EXISTENTE 2004	RESIDUAIS
	H	H	$\Delta H$
HV01	344,478	-	-
HV01A	341,886	340,000	-1,886
HV02	332,462	333,351	0,889
HV02A	328,603	328,614	0,011
HV03	345,527	345,266	-0,261
HV04	340,648	341,886	1,238
HV04A	343,843	344,397	0,554
HV05	345,365	341,824	-3,541
HV06	332,946	334,217	1,271
HV07	344,355	343,947	-0,408
HV07A	339,664	340,275	0,611
HV10	333,919	333,657	-0,262
HV12	343,943	345,000	1,057
HV13	343,984	344,774	0,790
HV13A	326,906	327,487	0,581
HV14	335,188	335,125	-0,063
HV14A	338,658	336,406	-2,252
HV15A	336,861	337,736	0,875
HV17	332,738	331,504	-1,234
HV19	330,357	331,261	0,904
HV20	337,977	340,000	2,023
HV21	280,714	282,414	1,700
HV22	311,917	314,356	2,439
HV23	324,238	324,853	0,615
HV23A	322,329	322,043	-0,286

PONTO	LEVANTAMENTO GNSS 2019	BASE CARTOGRÁFICA EXISTENTE 2004	RESIDUAIS
	H	H	ΔH
HV24	282,552	283,974	1,422
HV24A	301,372	-	-
HV25	220,621	222,667	2,046
HV26	301,354	303,121	1,767
HV27	336,357	335,080	-1,277
HV28	303,209	301,358	-1,851
HV28A	313,131	314,937	1,806
HV29	284,512	286,856	2,344
HV29A	283,369	285,240	1,871
HV29B	285,163	287,018	1,855
HV30	198,130	196,382	-1,747
HV30A	200,307	200,331	0,024
HV30B	203,267	205,662	2,395
HV31	282,075	283,359	1,284
HV31A	324,985	325,101	0,116
HV31B	322,069	320,308	-1,761
HV32	280,812	283,121	2,309
HV32A	282,578	285,000	2,422
HV33A	310,662	310,000	-0,662
HV34	330,627	330,000	-0,627
HV34N	330,986	330,000	-0,986
HV35	296,987	295,337	-1,650
HV35A	311,465	310,414	-1,051
HV36	302,487	300,314	-2,173
HV36A	317,326	315,000	-2,326
HV37	315,326	314,192	-1,134
HV37A	310,352	310,000	-0,352
HV37N	314,107	313,058	-1,049
HV38A	301,528	299,285	-2,243
HV38N	308,154	305,387	-2,767
HV39	302,361	300,064	-2,297
HV39A	302,470	300,685	-1,785
HV40	304,157	305,030	0,873
HV40A	300,825	301,513	0,688
MÉDIA			0,01
MÁXIMO			2,44
MÍNIMO			-3,54
DESVIO PADRÃO			1,58
Classes	PEC	EP	Classificação
A	0,27	0,17	42%
B	0,50	0,33	42%
A	0,54	0,34	42%

PONTO	LEVANTAMENTO GNSS 2019	BASE CARTOGRÁFICA EXISTENTE 2004	RESIDUAIS
	H	H	$\Delta H$
B	1,00	0,66	60%
A	1,35	0,84	70%
B	2,50	1,67	100%

**ESSES RESULTADOS ATENDEM O EXIGIDO PELA ANA/ANEEL QUE PRECONIZA O PEC-PCD (B) PARA ESCALA 1:10.000.**

#### **7.7. Produtos Entregues na Etapa Controle de Qualidade**

- 1) Arquivo do Google Earth contendo distribuição espacial dos vértices utilizados, no formato \*.KMZ, contido no Anexo 1;
- 2) Planilha de coordenadas contendo informações dos Pontos coletados, apresentadas em Coordenadas Geodésicas e no Sistema UTM, no referencial SIRGAS2000, no formato \*.PDF, contidas no Anexo 5A;
- 3) Registros Fotográficos dos Vértices implantados, no formato \*.JPEG, contidos no Anexo 5B;
- 4) Relatórios técnicos de Processamento e Ajustamento dos dados GNSS, no formato \*.PDF, contidos no Anexo 5C;
- 5) Dados digitais do sistema de coleta do receptor (dados de rastreamento), contidos no Anexo 5D;
  - i. Arquivos Rinex II e originais dos vértices ocupados;
  - ii. Planilha de campo contendo as informações realizadas no rastreamento, no formato \*.PDF.
- 6) Relatórios de Qualidade emitido pelo software GeoPEC, no formato \*.PDF, contidos no Anexo 5E.

## 8. LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO

Os levantamentos batimétricos automatizados são realizados a bordo de embarcações utilizando-se de ecobatímetros para medição de profundidades numa alta taxa de amostragem e de um receptor RTK para o posicionamento planimétrico diferencial em tempo real. Estes levantamentos buscam a redução do tempo de execução e um alto grau de eficiência.

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

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

### 8.1. Planejamento da Batimetria

De acordo com o documento da ANA/ANEEL Orientações para Atualização das Curvas Cota x Área x Volume em específico ao item de “Mapeamento da Área Molhada do Reservatório” é descrito as seguintes informações:

*O levantamento batimétrico dos reservatórios das usinas despachadas centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS (área molhada) se constituirá numa malha de pontos geodesicamente definidos (latitude e longitude) e com sua respectiva profundidade.*

*A execução dessa atividade deverá ser efetuada por meio de ecobatímetros de feixe único (single beam) ou de múltiplos feixes (multibeam). Quando forem empregados ecobatímetros de feixe único, o trabalho no corpo principal, braços, afluentes e canais do reservatório deverão ser efetivados por linhas regulares de sondagem (LS) equidistantes, dispostas de forma transversal e longitudinal as curvas isobatimétricas da área.*

O levantamento batimétrico foi realizado por meio de ecobatímetro de feixe único (single beam) e o planejamento foi realizado de forma complementar o levantamento antigo recobrir o corpo principal e afluentes por linhas regulares e equidistantes.



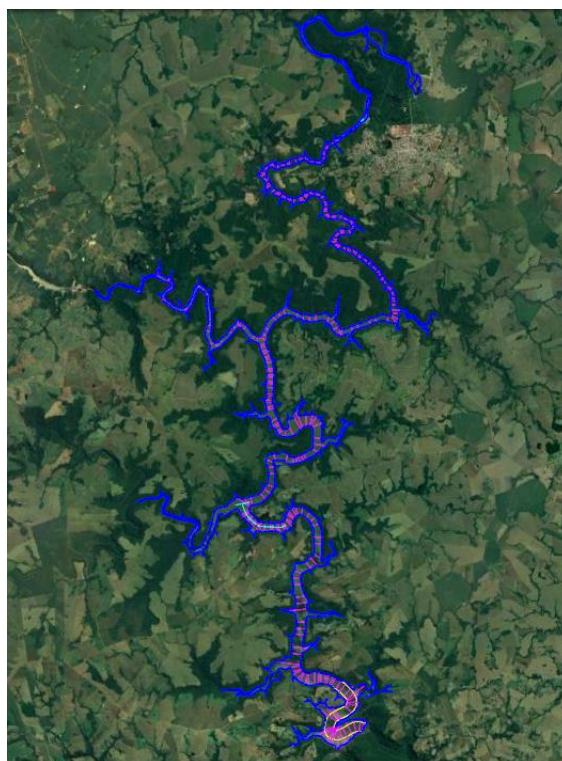
Para este projeto, será utilizado informações de Levantamento Batimétrico existente de 2013, sendo necessário a execução de seções do quantitativo previsto entre as linhas de sondagem existentes, intercaladas, para preencher buracos existentes no serviço de 2013.

#### **8.1.1. Levantamento Batimétrico Intercalado ao Existente e Complemento de Buracos**

O Levantamento Batimétrico será executado de forma a atender o solicitado pela ANA, sendo assim, foi definido que seria necessário inserir seções intercaladas nas seções do Levantamento Batimétrico existente para adensar os pontos e conseguir melhor interpolação e representação do terreno na área molhada.

Devido ao aproveitamento dos produtos existentes, o espaçamento das seções para cada reservatório com o novo Levantamento Batimétrico será variável, sendo realizado a disposição das seções nos locais de maior necessidade.

A Figura abaixo apresenta as linhas de sondagem planejadas para execução dos serviços.



*Figura 19 - Planejamento das Seções Batimétricas.*

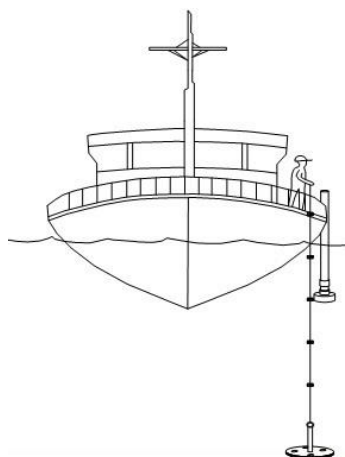
Os serviços foram executados com equipamentos que remetem a tecnologia GNSS/RTK, com correção altimétrica em tempo real, com amarração nos vértices da RVG implantada.

## 8.2. Calibração do Ecobatímetro

A calibração do ecobatímetro foi feita no início e final da coleta das sessões de informações.

O procedimento é feito de forma automática e leva em consideração o ajuste da velocidade do som e da embarcação, o relevo potencial e outros parâmetros, até que o valor mostrado no display do equipamento coincida com o valor determinado pela medição da profundidade no ponto de partida (esta realizada com um bastão graduado).

Eleva-se a placa, executando-se paradas em intervalos regulares de profundidades a cada metro, deixando o ecobatímetro registrar a cada parada o valor calibrado.



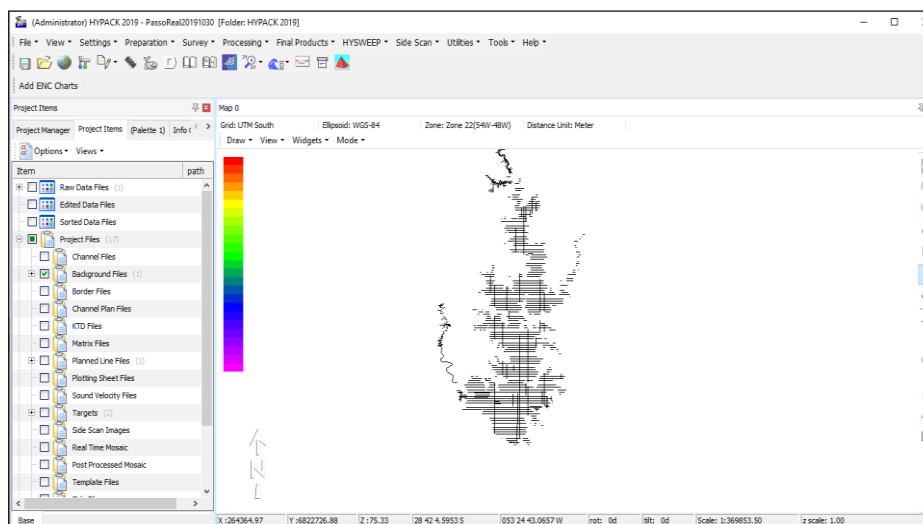
*Figura 20 - Calibração do ecobatímetro.*

Adotou-se uma distância para imersão de 0,30 m, velocidade do som de 1500 m/s na coluna, conforme identificação de registro do software, velocidade média de embarcação 10 km/h e podendo ser coletadas informações até 500 m de profundidade.

## 8.3. Execução do Levantamento Batimétrico

O levantamento batimétrico foi realizado seguindo as prescrições da DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação). Primeiramente realizou-se o planejamento do levantamento, seguido da coleta de dados, processamento e geração da malha de pontos do fundo do Reservatório da UHE - ITAÚBA (e consequente leito do Rio Jacuí e afluentes).

Com o software Hypack e uma planta com os limites das margens do Reservatório da UHE - ITAÚBA, com seções a serem medidas corpo principal e afluentes, foram planejadas linhas de navegação regulares respeitando os distanciamentos calculados. As linhas regulares foram projetadas de forma perpendicular ao curso do Reservatório e atendeu as configurações já estipuladas. A Figura abaixo apresenta o modelo do plano de navegação no software Hypack.



*Figura 21 - Modelo do plano de navegação com o software Hypack.*

#### 8.4. Coleta das Informações

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

As Figuras a seguir mostram o conjunto RTK / Ecobatímetro / Embarcação.



*Figura 22 - Conjunto RTK / Ecobatímetro / Embarcação.*

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

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

O posicionamento planimétrico das profundidades coletadas foi realizado através do sistema de posicionamento RTK, com correção em tempo real, conforme ilustrado na Figura a seguir.

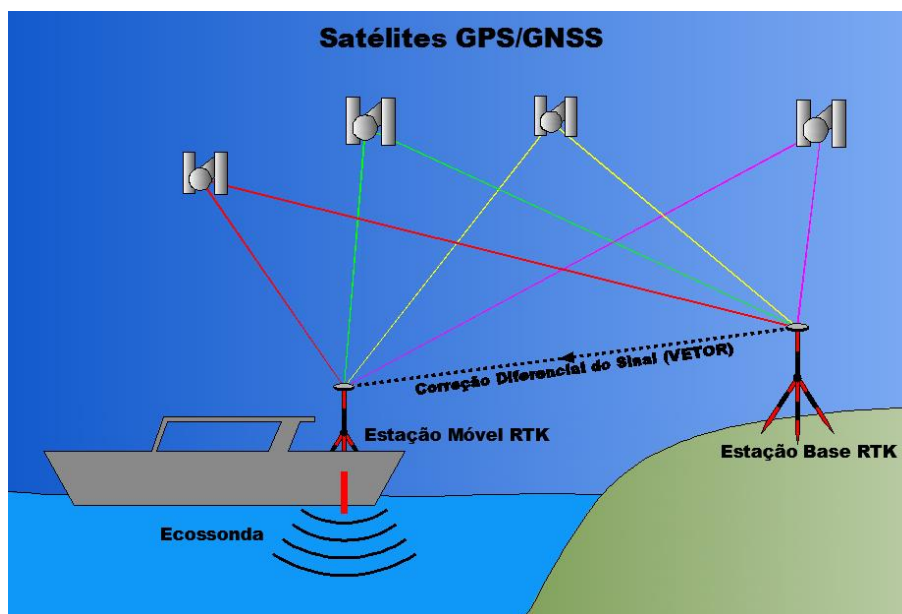
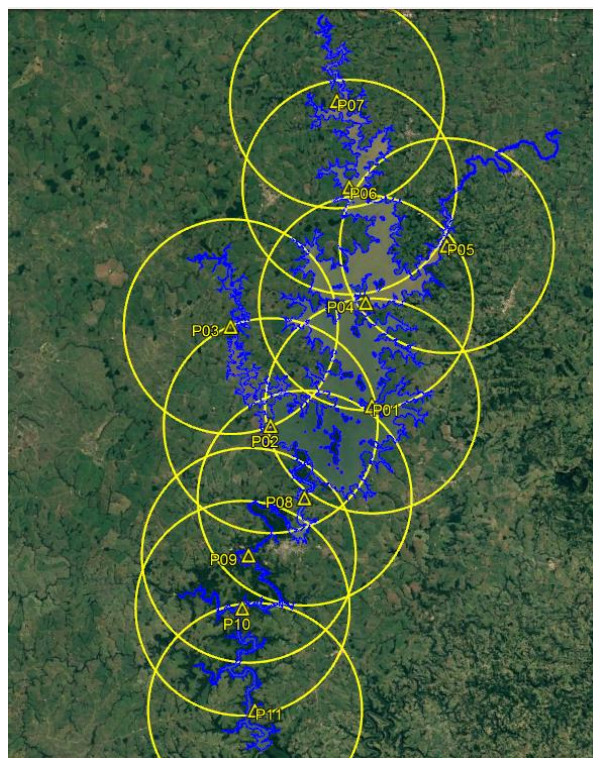


Figura 23 - Esquema de funcionamento da batimetria em tempo real.

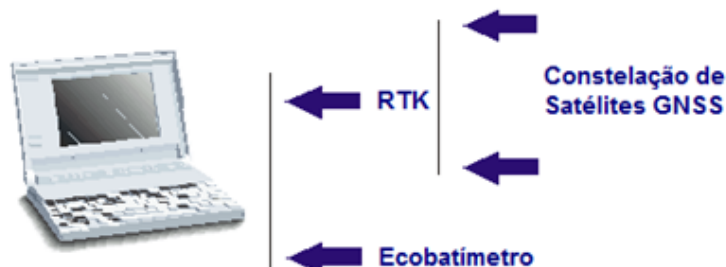
Para obtenção do sinal fixo do RTK foi preciso implantar bases de vértices (todas com amarração à RVG) em suporte ao levantamento batimétrico, a distância entre cada base foi função da necessidade (de acordo com a propagação dos sinais RTK), a Figura abaixo ilustra os raios de abrangência das bases RTK utilizadas para levantamento batimétrico.





*Figura 24 - Bases RTK para os Levantamentos Batimétricos.*

O sistema de posicionamento RTK foi interligado com o ecobatímetro Hydrotrac e CVM através do software Hypack, registrando simultaneamente, em tempo real, o posicionamento planimétrico e a sondagem, conforme ilustrado na fluxograma da Figura a seguir.



*Figura 25 - Fluxograma de execução e obtenção das informações da batimetria.*

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





Figura 26 - Execução do Levantamento Batimétrico.

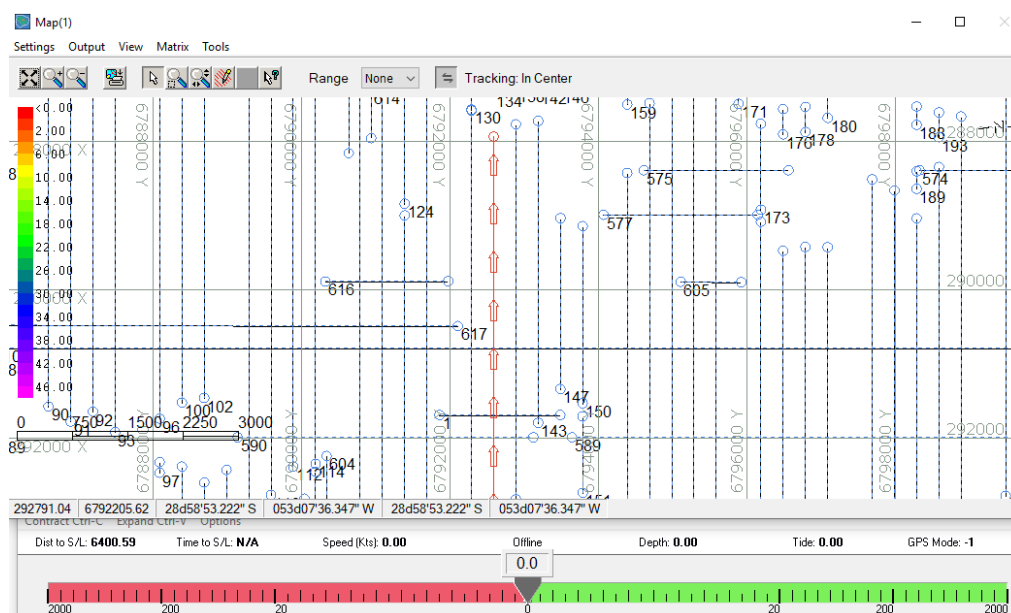


Figura 27 - Acompanhamento da navegação, ilustrando a execução das linhas planejadas e controle da deriva.

### 8.5. Pontos Inacessíveis para Batimetria

Devido à época de Levantamento Batimétrico ser durante o período de chuvas, o Reservatório da UHE Itaúba estava com nível considerável resultando em coleta de dados até a borda do remanso, impossibilitando a falta de dados em grandes distâncias entre o Levantamento Batimétrico atual e o Levantamento Aerofotogramétrico de 2003.

### 8.6. Variação do Nível d'Água

Em função do fluxo de água nas corredeiras, para referenciar todos os levantamentos executados ao SGB (referencial altimétrico oficial) foi necessário o levantamento batimétrico ser executado com RTK para definição dos níveis d'água nas regiões da batimetria. Esse levantamento é realizado simultaneamente as missões de coleta de batimetria.

### 8.7. Processamento

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

O processamento continuou com a edição das linhas sondadas no módulo *Single Beam Editor* do Hypack. Esse processo corresponde à visualização do “ecograma digital” para retirada de profundidades espúrias (spikes), conforme ilustrado nas Figuras abaixo.

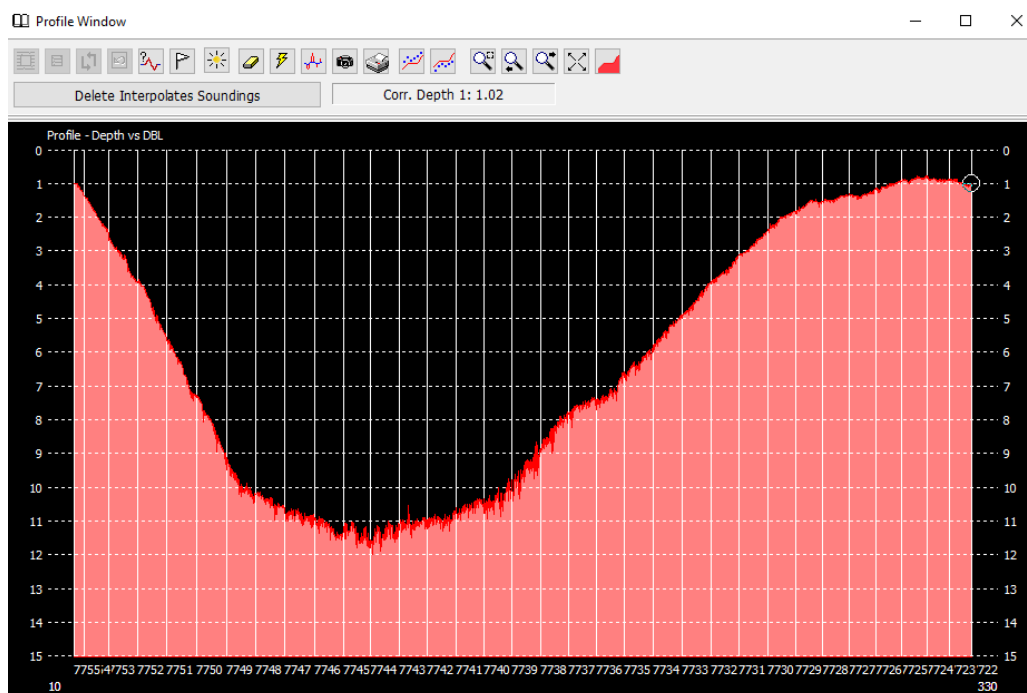


Figura 28 - Exemplo de Seção bruta com spike.

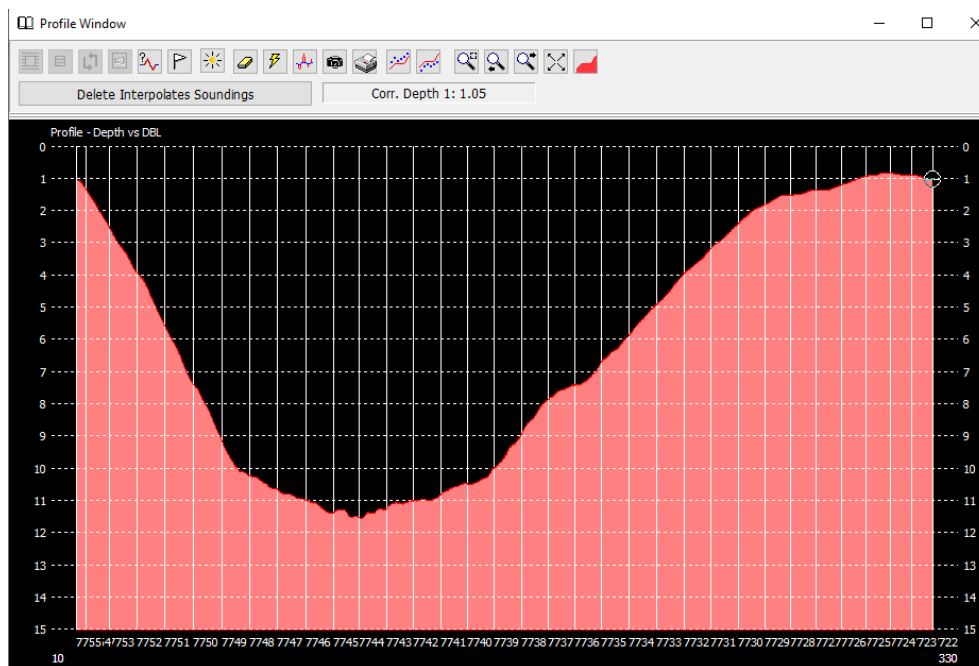


Figura 29 - Exemplo de Seção editada, com eliminação do spike.

### 8.8. Análises dos Dados Coletados

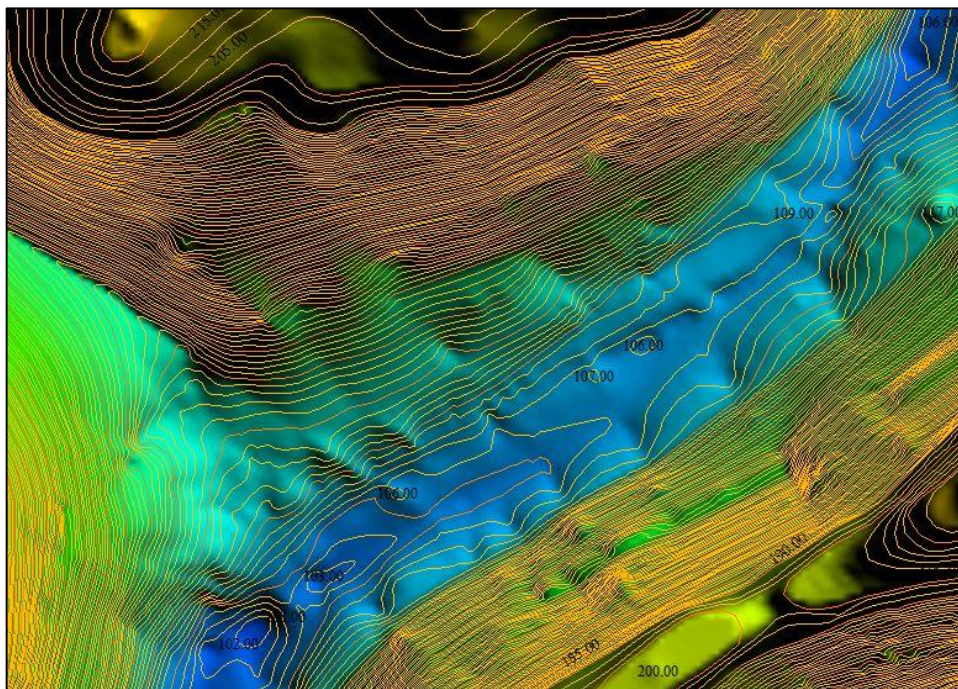
Os dados obtidos nos levantamentos batimétricos foram devidamente analisados no próprio local da batimetria. Durante a fase de processamento os perfis digitais foram comparados com os registros do ecobatímetro, sendo que todos os dados espúrios (spikes) foram eliminados.

Após a edição dos dados fez-se o processo das sondagens pelo método “sort” do programa Hypack gerando um arquivo \*.xyz que contém os valores de coordenadas e profundidade.

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

A Figura abaixo mostra recortes da Planta do Levantamento Batimétrico realizado





*Figura 30 - Planta do Levantamento Batimétrico.*

### **8.9. Controle de Qualidade e Correção do Levantamento Batimétrico Existente**

O Levantamento Batimétrico de 2019 executado e analisado possibilitou o Controle de Qualidade e Correção do Levantamento Existente para utilização da malha de pontos na Modelagem do Terreno.

Com as seções transversais do Levantamento Batimétrico atual intercalado às seções transversais antigas e interseccionando a seção longitudinal antiga, a ordem de controle e correção ocorreu em duas etapas, sendo a primeira a Correção das Seções Longitudinais e segundo a Correção das Seções Transversais.

A sobreposição de Seções Transversais Atuais x Seções Longitudinais Antigas possibilitou o controle e correção dos dados Longitudinal do Levantamento 2013 considerando a diferença espacial entre as interseções dos levantamentos, sendo a correção variável seguindo parâmetro regionalizado com base nas diferenças encontradas.

Após análises em vários pontos que apresentavam divergências entre as Altitudes Ortométricas obtidas pelos Levantamentos Batimétricos, procedeu-se uma segunda avaliação que considerou a eliminação de trechos de seções que não apresentavam confiabilidade nos desníveis quando comparadas às seções mais próximas. Neste caso, eliminaram-se as inconsistências encontradas.

O resultado final da Superfície de Correção é apresentado na Figura abaixo. A partir dos indícios das diferenças de valores das Altitudes Ortométricas foi extraído o valor de correção regionalizado aferição das Seções Longitudinais do Levantamento Batimétrico 2013.

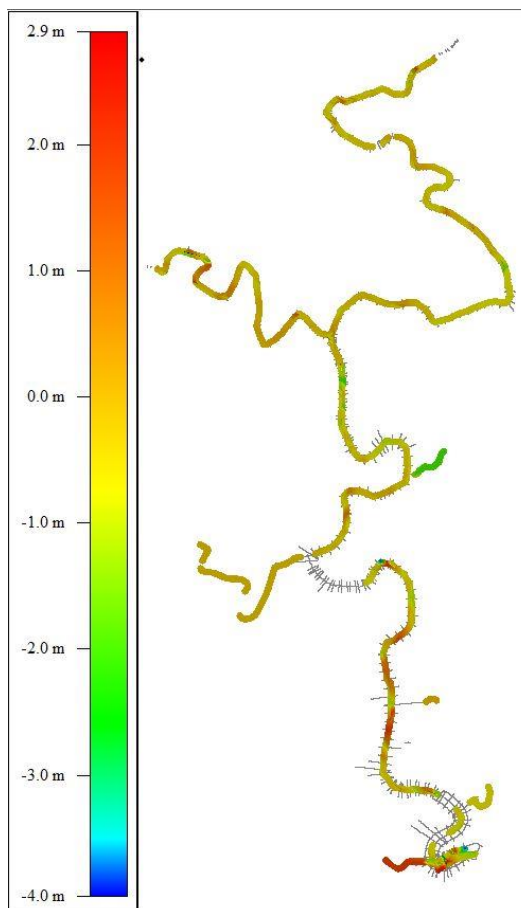


Figura 31 - Superfície de Correção para Seções Longitudinais do Levantamento Antigo (2013).

A partir da Superfície de Correção pôde-se extrair o valor da discrepância para as intersecções existentes entre Levantamentos. Foi extraído o índice a ser aplicado para as seções quando este tinha apenas uma intersecção e analisado para mais de um índice para os casos onde tivesse mais intersecções, o valor da Superfície de Correção foi adicionado às Alturas Ortométricas do Levantamento Batimétrico de 2013.

Após o ajuste regionalizado das seções Longitudinais do Levantamento Batimétrico de 2013 e utilizando a mesma metodologia de correção das longitudinais supracitada, porém, no caso da correção das transversais antigas foi utilizado como base as seções longitudinais corrigidas anteriormente. A Figura abaixo apresenta a superfície de correção utilizada nos dados Longitudinais do Levantamento Antigo.



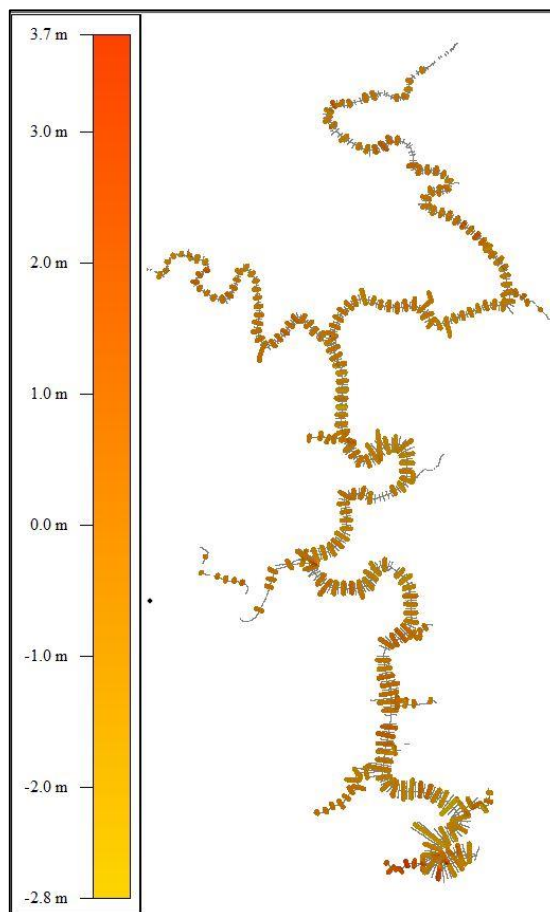


Figura 32 - Superfícies de correção para seções transversais do levantamento antigo.

Com a aplicação da superfície de correção nas linhas batimétricas longitudinais possibilitou compatibilidade destas seções com o material novo, a Figura abaixo apresenta exemplo de seções antes e após correção em visualização em 3D.

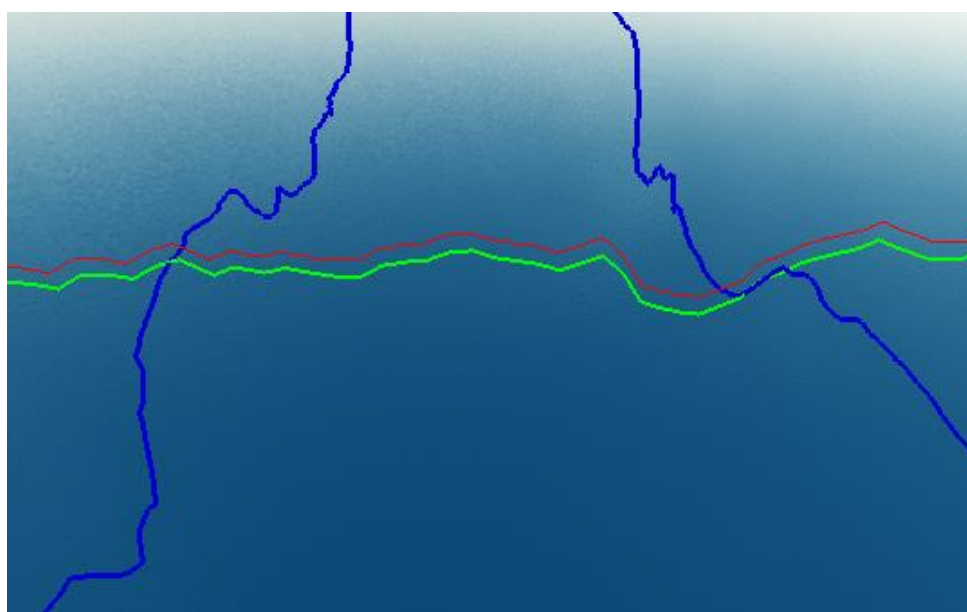


Figura 33 – Exemplo de Seções transversais de 2019 em azul, em vermelho seção longitudinal de 2013 antes da correção e em verde após correção.

Devido a correção regionalizada para as diferenças entre Levantamentos e analisando os desníveis dentro da particularidade de cada seção foi necessário a exclusão de dados do Levantamento Batimétrico de 2013 não passíveis de aferição, por estarem incoerentes com os demais, sendo corrigidos 47596 dos 55690 Pontos Existentes, sendo um aproveitamento de aproximadamente 85.4%.

#### **8.10. Produtos Entregues na Etapa de Levantamento Batimétrico**

- 1) Arquivo do Google Earth contendo as linhas planejadas para coleta da batimetria, no formato \*.KMZ, contido no Anexo 1;
- 2) Dados digitais do sistema de coleta do ecobatímetro (dados de medição), contidos no Anexo 6A (altura geométrica sem desconto da altura do bastão no valor de 1,55m):
  - i. Arquivos Brutos, no formato \*.RAW;
  - ii. Arquivos Editados:
    - Soundings editadas, no formato \*.EDIT;
    - Malhas de Pontos Resultantes, no formato \*.TXT;
    - Ecogramas Resultantes, no formato \*.PDF
    - Planilha de Coordenadas, no formato \*.XLSX.

## 9. Geração do MDT do Reservatório

Após validação da Base Cartográfica Existente e Malha de Pontos do Levantamento Batimétrico é possível gerar o Modelo Digital do Terreno - MDT, que é a modelagem digital do terreno baseado em uma malha densa e precisa de pontos do terreno, a partir dele foi possível recompor toda altimetria do terreno (curvas de níveis, perfis, seções e pontos cotados).

Menciona-se a metodologia descrita no documento da ANA/ANEEL Orientações para Atualização das Curvas Cota x Área x Volume em específico ao item de “*Modelo Digital do Reservatório e Curvas Cota x Área x Volume*” que descreve as seguintes informações:

*“O Modelo Digital do reservatório deverá ser gerado a partir de todos os pontos mensurados durante o levantamento das partes seca e molhada do mesmo, empregando-se um método de interpolação adequado. Para adensar e qualificar o referido modelo deve-se usar a linha do contorno do reservatório como breakline.”*

A geração do Modelo Digital do Terreno consiste na Integração das Informações da parte seca com a parte molhada, representada para este reservatório pelas Curvas de Níveis da Base Cartográfica Batimétrico de 2003 e o Levantamento Batimétrico de 2019 somado ao de 2013 corrigido, antes de gerar a superfície final é necessário melhor tratamento na parte molhada.

### 9.1. Tratamento de Dados da Parte Molhada

O Levantamento Batimétrico consiste em seções com espaçamento entre os dados, possibilitando o detalhe Altimétrico do fundo do reservatório apenas nos locais de execução das linhas de sondagem, sendo necessário utilização de interpoladores para caracterização dos espaços entre seções que são vazios de informação, para isso, a parte molhada precisa passar por tratamento para melhor definição dos taludes, topos, fundos e canais

Para isso foi utilizado o software ArcGIS, versão 10.3, através do algoritmo *Topo to Raster*, onde o mesmo utilizando interpolador próprio, procedeu todo o processamento para uniformização das informações de diferentes fontes e características.

A vantagem deste algoritmo é a utilização de informações adicionais, como pontos levantados por diferentes tecnologias e espaçamentos, e havendo informações adicionais como: curvas de nível, delimitação de rios e lagos e contornos de bacias hidrográficas, ele permite utilizar estas informações em conjunto para minimizar erros de interpolação. A seguir a imagem ilustra a ferramenta utilizada, e a possibilidade de importação de vários conjuntos de dados e parametrização para adequação dos resultados conforme características dos dados.

Topo to Raster

**Input feature data**

Feature layer	Field	Type
C:\Users\adriano.caliman\Desktop\OS_706_BALBINA\BALBINA_A01_PONTOS.shp	ELEVATION	PointElevation
C:\Users\adriano.caliman\Desktop\OS_706_BALBINA\BALBINA_A02_PONTOS.shp	ELEVATION	PointElevation
C:\Users\adriano.caliman\Desktop\OS_706_BALBINA\las_from_plcs.shp	id	PointElevation

**Output surface raster**  
C:\Users\adriano.caliman\Documents\ArcGIS\Default.gdb\TopoToR\_shp1

**Output cell size (optional)**  
266.60084000004

**Output extent (optional)**

Top: 9853936.549000  
Left: 139681.799000  
Right: 244947.886000  
Bottom: 9787286.338000

Margin in cells (optional): 20

Smallest z value to be used in interpolation (optional):

Largest z value to be used in interpolation (optional):

Drainage enforcement (optional): ENFORCE

Primary type of input data (optional): CONTOUR

Maximum number of iterations (optional): 20

Roughness penalty (optional):

Profile curvature roughness penalty (optional):

OK Cancel Environments... << Hide Help Tool Help

appropriate.

- Type—The type of input feature dataset.

There are nine types of accepted inputs:

- PointElevation**—A point feature class representing surface elevations. The Field stores the elevations of the points.
- Contour**—A line feature class that represents elevation contours. The Field stores the elevations of the contour lines.
- Stream**—A line feature class of stream locations. All arcs must be oriented to point downstream. The feature class should only contain single arc streams. There is no Field option for this input type.
- Sink**—A point feature class that represents known topographic depressions. The tool will not attempt to remove from the analysis any points explicitly identified as sinks. The Field used should be one that stores the elevation of the legitimate sink. If NONE is selected, only the location of the sink is used.
- Boundary**—A feature class containing a single polygon that represents the outer boundary of the output raster. Cells in the output raster outside this boundary will be NoData. This option can be used for clipping out water areas along coastlines before making the final output raster. There is no Field option for this input type.
- Lake**—A polygon feature class that specifies the location of lakes. All output raster cells

Figura 34 - Função do interpolador topo to raster.

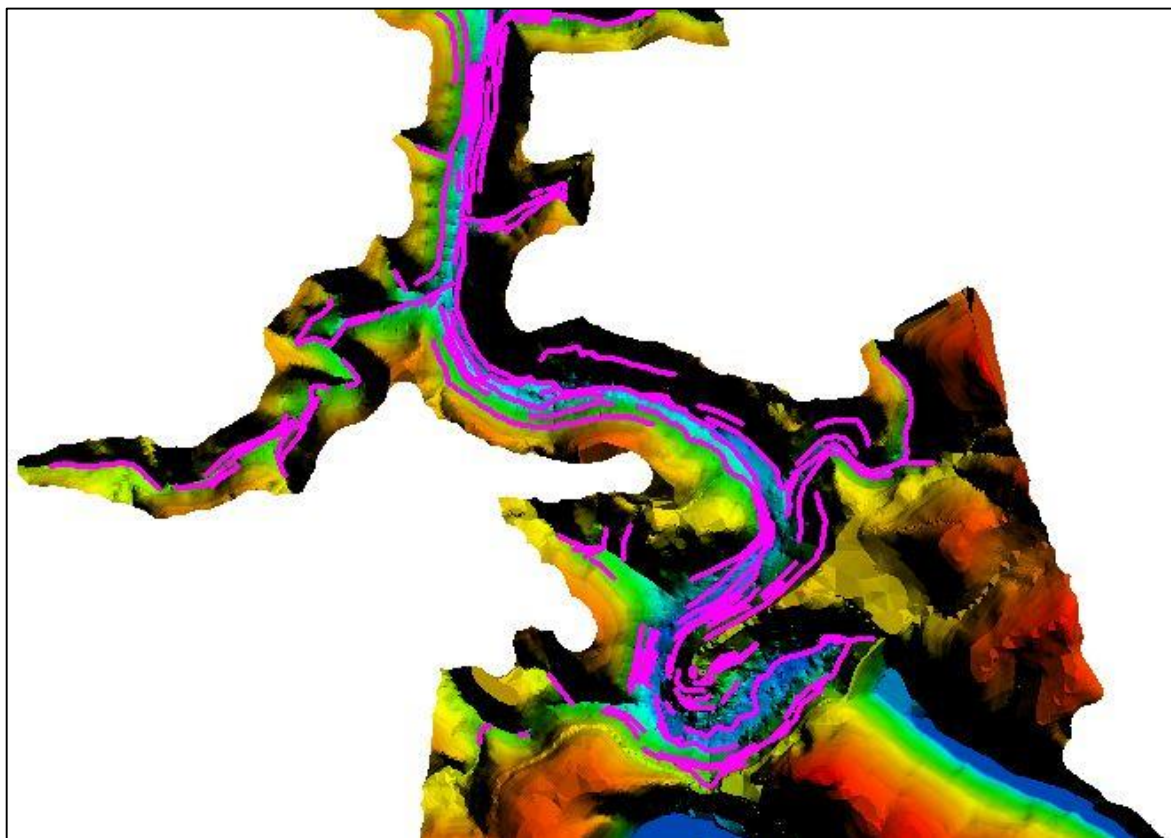
Após o processamento da interpolação das informações, obteve-se o resultado correspondente em uma superfície consistente quanto à morfologia da bacia hidrográfica, buscando reconstruir os canais dos cursos d'água.

Devido à equidistância entre as linhas batimétricas executadas o interpolador *Topo To Raster* gera inconsistências com pontos mais dispersos nos espaços sem informações coletadas de campo (entre as linhas batimétricas). A partir da superfície do *Topo To Raster* foi exportada para uma malha de pontos regular para tratamento e melhor definição dos cursos hídricos existentes no reservatório.

Para edição do modelo integrado, procedeu-se a importação da malha regular obtida conforme descrito anteriormente somando às Linhas Batimétricas executadas, no software *DTMaster da Trimble* (pacote de soluções IMPHO), utilizando o recurso de estereoscopia (na estação fotogramétrica) para analisar a morfologia do terreno interpolado. Neste software foram criadas Linhas de Quebra (breaklines) para melhor definição dos cursos hídricos, realizando a ligação entre os locais que foram executados linhas de sondagem, definindo os taludes (pé e crista) e fundos de curso d'água. Após a inserção das Linhas de Quebra, foi realizada nova interpolação da malha de pontos regular gerada a partir da superfície *Topo To Raster* (ora importada no *DTMaster*) nos locais onde foram inseridas as breaklines, sempre respeitando os resultados obtidos no Levantamento Batimétrico. Para não correr

risco de alteração, os dados batimétricos foram importados como leitura e toda edição foi elaborada na malha de pontos interpolada, contudo respeitando os valores de profundidade obtidos pela batimetria.

A Figura abaixo ilustra as linhas de quebra (breaklines) inseridas no processo de supervisão da nuvem de pontos.



*Figura 35 – Exemplo de Linhas de Quebra criadas para definição do curso hídrico representadas por linha na cor rosa.*

Após o tratamento da malha de pontos regular na parte molhada, foi possível gerar a superfície com maior precisão dos cursos hídricos submersos no reservatório, pois a malha de pontos regular após a inserção das breaklines e reinterpolação, apresentou-se mais adequada em regiões próximas a taludes naturais.

As Figuras a seguir exemplificam a sobreposição da malha de pontos coletadas sobre a superfície gerada e também a visualização 3D da calha do Rio Jacuí.



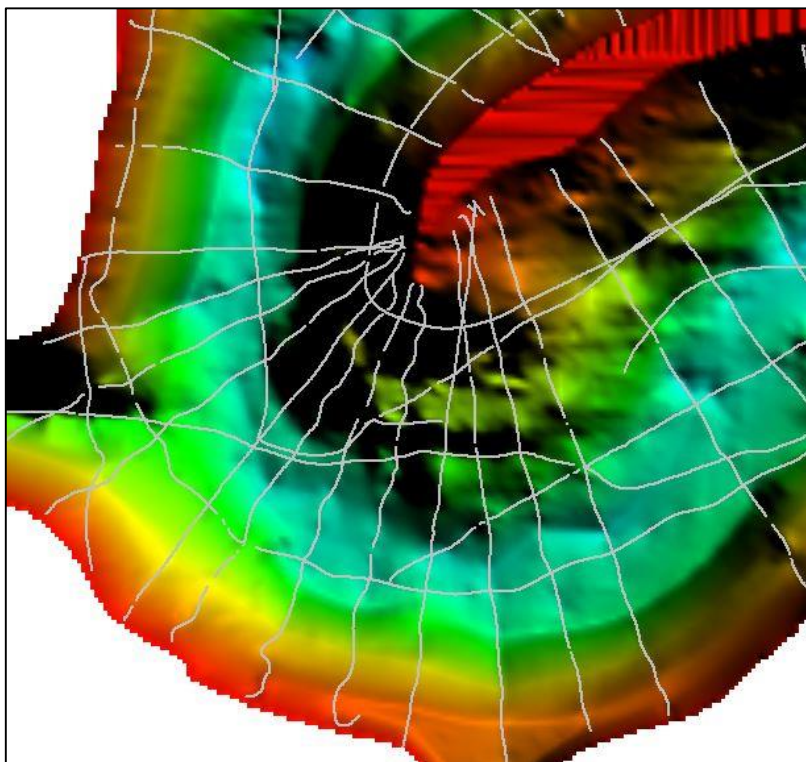


Figura 36 - MDT do Reservatório com a sobreposição das linhas de sondagem executadas.

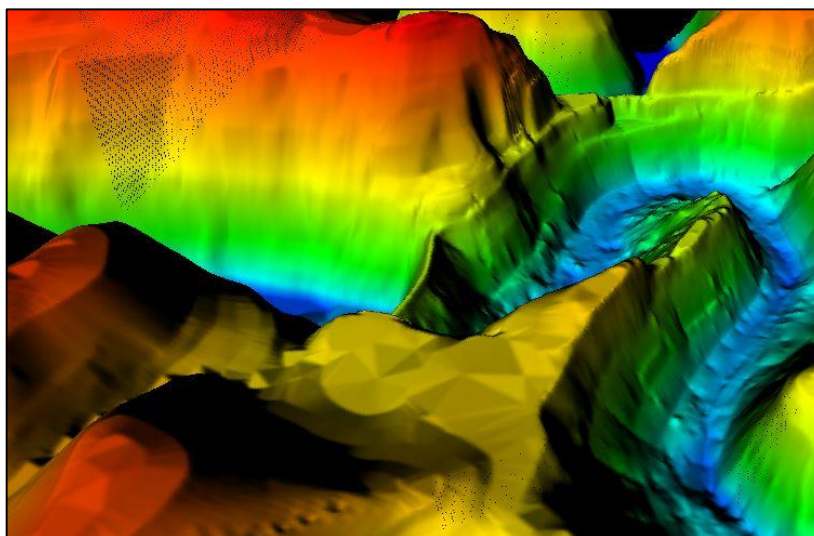
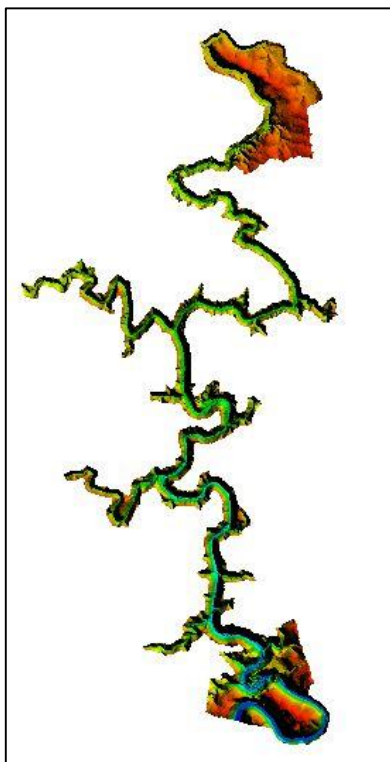


Figura 37 - Visualização 3D da calha do Rio Jacuí.

## 9.2. Geração do MDT (Integração de Dados Parte Seca e Molhada)

Após finalização do tratamento dos dados da parte molhada e validação da base cartográfica existente foi gerado o MDT final que envolve todo reservatório, esta superfície será a utilizada para atualização da Base Cartográfica revisada com a inserção da parte molhada como também para a geração dos resultados da Curva CAV do Reservatório.

A Figura a seguir apresenta o MDT Final da UHE - Itaúba.



*Figura 38 - MDT Final da UHE - Itaúba.*

### **9.3. Produtos Entregues na Etapa de Geração do MDT**

- 1) Base Cartográfica Atualizada, na escala 1:10.000, do Reservatório e entorno contendo informações da Cartografia Existente (parte seca) e do Levantamento Batimétrico realizado, no formato \*.DWG, contida no Anexo 7;
- 2) Superfície Modelo Digital do Terreno (MDT), contidas no Anexo 8A:
  - i. MDT\_Geral: obtido a partir dos dados da Base Cartográfica (parte seca) e do Levantamento Batimétrico, no formato \*.GEOTIFF;

## **10. Edição Cartográfica**

A Edição Cartográfica é a etapa que concatena os subprodutos gerados em outras etapas no produto final de entrega.

Foram utilizados todos os elementos naturais e artificiais identificáveis da Base Cartográfica Existente e somados aos dados levantados para a parte submersa do reservatório. Foram retificados possíveis erros e validados todas as toponímias da área de projeto. Todas as informações foram organizadas em níveis, permitindo qualquer instante a recuperação isolada ou combinada dos mesmos.

Os layers foram estruturados de forma a permitir que cada elemento interpretado fosse agrupado em uma mesma camada devido às suas características. Dessa forma, foram criados layers para um detalhamento maior para temas como: cercas, rios, lotes, vias, etc. Também, como a estruturação do conjunto de temas, foram criados layers específicos para as informações textuais referente a cada feição conforme sua toponímia.

### **10.1. Edição Vetorial**

As Convenções Cartográficas adotadas para representação vetorial foram baseadas na ABNT NBR 15.777:2009.

A edição vetorial dividiu-se em três importantes etapas: pré-edição, revisão e edição final propriamente dita. Todo o processo de edição utilizou como plataforma de trabalho o software AutoCAD Map 2014 3D, em estações digitais de trabalho.

### **10.2. Pré-edição**

A Pré-edição consiste, basicamente, em adaptar o material digital obtido ao padrão de representação cartográfica. Os dados provenientes, após passarem por tratamentos reuniram-se em um único arquivo, denominado “BASE CARTOGRÁFICA ATUALIZADA”. Na elaboração da base cartográfica atualizada tomaram-se todos os cuidados para não haver duplicidade de nenhum dado vetorial no arquivo geral.

Fazendo-se uso de ferramentas especiais do software AutoCAD Map 2014 3D foram efetuadas correções na base cartográfica, a fim de eliminar as pequenas inconsistências que não foram detectadas no processo anterior. Também se padronizou os elementos em seus respectivos layers associando suas características, tais como: cor, traço, espessura, entre outras.

Concluída todas as verificações necessárias as folhas foram cortadas na articulação padrão e impressas na escala de entrega.



### 10.3. Revisão

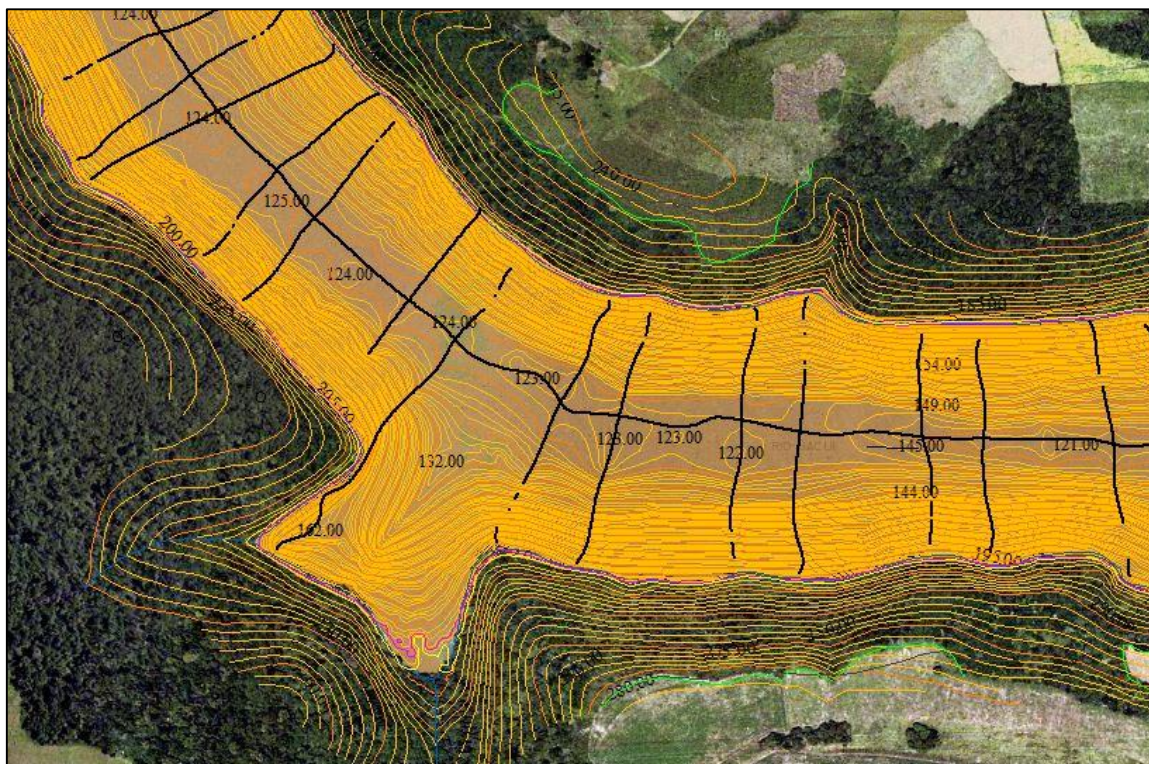
Consiste na identificação de inconsistências provenientes da edição cartográfica. O revisor efetuou análises dos dados vetoriais, assinalando no arquivo geral todos os pontos passíveis de correção. Após a análise do revisor as folhas foram encaminhadas a edição para adequações. O processo repetiu-se até a conclusão da aprovação pelo revisor.

### 10.4. Edição Final

A edição final consiste simplesmente na inserção da imagem sobre o arquivo vetorial. Em se tratando de uma imagem ortorretificada não há necessidade de fazer qualquer referência para encaixe dos arquivos, pois ambos (arquivo vetorial e imagem) estão exatamente no mesmo sistema e perfeitamente compatíveis em escala e precisão.

O produto final contempla as informações resultantes Base Cartográfica Existente, RVG e Levantamento Batimétrico, as informações complementares da reambulação, as ortofotos e a edição final.

A Figura a seguir mostra um exemplo das informações editadas sobre as ortofotos para o presente trabalho.



*Figura 39 - Modelos de Edição Final sobre as Ortofotos.*

**10.5. Produtos Entregues na Etapa de Edição Cartográfica**

- 1) Base Cartográfica Atualizada, na escala 1:10.000, do Reservatório e entorno contendo informações da Cartografia Existente (parte seca) e do Levantamento Batimétrico realizado, no formato \*.DWG, contida no Anexo 7;





### **11.2. Produtos Entregues na Etapa de Geração das Curvas CAV**

- 1) Planilhas contendo informações de Área e Volume para cada Cota observada, contidos no Anexo 9:
  - i. Planilha com variação de cotas a cada 1 cm, no formato \*.XLSX;
  - ii. Planilha com variação de cotas a cada 50 cm, no formato \*.XLSX;
  - iii. Planilha com a comparação das Curvas CAV Antigas x Curvas CAV 2019, no formato \*.XLSX;
  - iv. Gráficos resultantes das Curvas CAV (e comparação), no formato \*.PDF.

## 12. COMPARAÇÃO DAS CURVAS CAV: ANTIGA X 2019

A comparação das Curvas CAV foi realizada sobrepondo no mesmo gráfico às informações da área e volume antigos (os dados foram fornecidos pela CEEE-GT) e área e volume novos (objetos dos serviços realizados). Para esta comparação fez-se o ajuste das cotas dos levantamentos antigos (CEEE-GT) em -0,57 m (visto a correção de -0,55 m citada em relatório de 2003 e correção de -0,02 m do Referencial Altimétrico do IBGE).

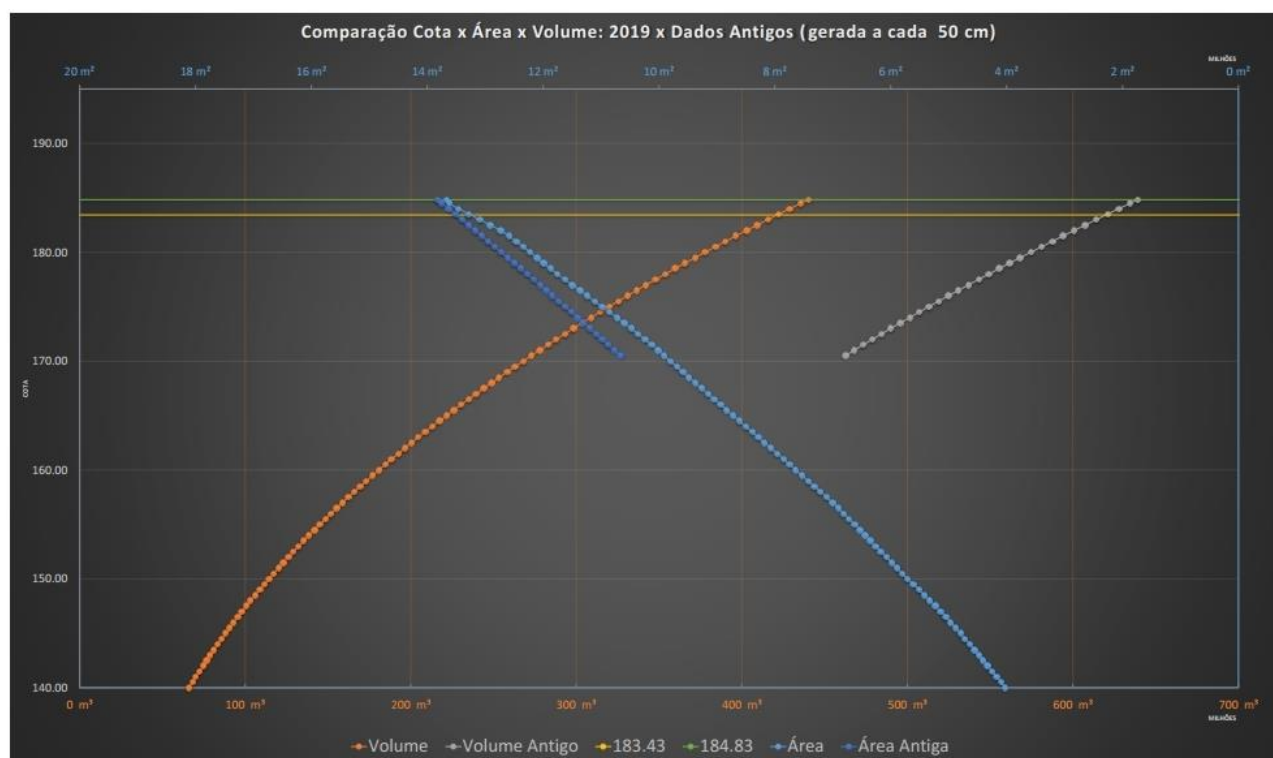


Figura 41 - Comparação das Curvas CAV: Antiga x 2019.

Reitera-se que as metodologias de levantamento utilizadas na coleta de dados são diferentes, o que leva também obtenção de resultados diferentes.

### 13. SEÇÕES TOPOBATIMÉTRICAS DE CONTROLE

A metodologia para implantação das Seções Topobatimétricas de Controle para Monitoramento de Sedimentos é descrita no documento da ANA/ANEEL Orientações para Atualização das Curvas Cota x Área x Volume em específico ao item de “Implantação das Seções de Controle: Localização e Quantidade” e descrevem as seguintes informações:

*“As seções de controle para o monitoramento do assoreamento dos reservatórios são um meio eficiente de acompanhar a evolução dos depósitos sedimentares no leito ou então de comprovar sua inexistência. Para que este método seja eficiente, as seções de controle (SC) devem ser posicionadas nos locais onde são esperados os depósitos de sedimento, em função da morfologia do reservatório, das características do sedimento e do regime de operação.*

*Para os reservatórios com média criticidade ao assoreamento, devem ser instalados dois conjuntos (com três seções de controle topobatimétrico cada) em dois locais distintos do reservatório. O posicionamento destas seções deve ser no seu quartil superior (trecho de montante), incluindo a zona de remanso. Essa é a área onde normalmente ocorrem os primeiros depósitos de sedimento, caso venham de fato a ocorrer. O espaçamento entre as três seções que compõem o conjunto de controle deve ser da ordem de no mínimo cinco vezes a largura do rio em condições naturais.*

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

*O agente do setor elétrico deverá implantar os marcos de concreto, definidores dessas seções topobatimétricas, em campo, em local seguro, salvo de danos, afastadas de possíveis obstáculos materiais.”*

A classificação da UHE - ITAÚBA foi dada pela ANA como sendo CLASSE 03 (nível baixo de criticidade), CENÁRIO 02 e CATEGORIA “B2”, portanto foram implantados 1 conjuntos (com 3 Seções Topobatimétricas de Controle de Sedimentos) de medições de controle em locais distintos do reservatório.

A localização das Seções Topobatimétrica de Controle foi definida em conjunto com CEEE-GT e ANA e é apresentada na Figura a seguir, os levantamentos foram realizados sobre o eixo da seção entre as margens do Reservatório.

As Seções Topobatimétrica de Controle estão distribuídas da seguinte forma: uma seção do conjunto situado a 12,2 km a montante do barramento no Rio Jacuí na foz do Arroio da Reserva, duas seções do conjunto situado a 20,5km a montante do barramento no Rio Jacuí na foz do Rio Ivaí.

As distâncias entre as seções (dentro de cada conjunto) são em média 500 m para o Rio Jacuí (não inferior a cinco vezes a largura do Rio nas condições naturais).

A Tabela a seguir apresenta as coordenadas das Seções implantadas (no eixo do Rio) dentro de cada conjunto materializado.

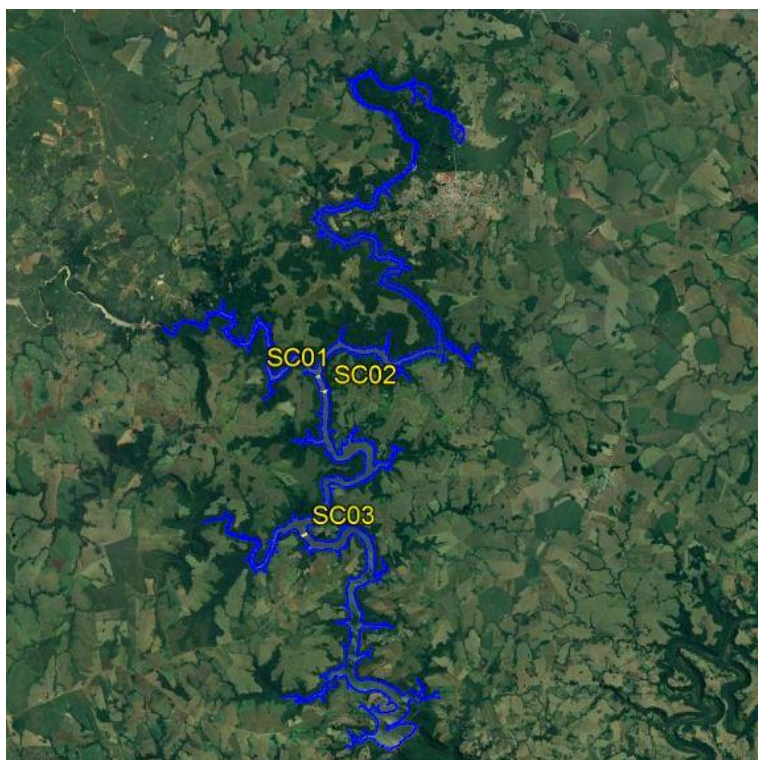


Figura 42 - Localização das Seções Topobatimétricas de Controle.

Tabela 15 - Lista de Coordenadas dos Eixos das Seções Topobatimétricas de Controle.

SIRGAS2000 / UTM F22S			
Conjunto	Seção	E	N
1	S1	280091	6773808
	S2	280275	6773315
	S3	279699	6768405

### 13.1. Implantação de Vértices para Seções de Controle

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

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

Os marcos foram implantados em locais escolhidos estrategicamente situados próximos às Seções Topobatimétricas de Controle (o posicionamento foi apresentado anteriormente), buscando locais mais abertos, onde a cobertura vegetal permitiu o rastreamento dos mesmos com auxílio de receptores GNSS.

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

- Tempo de rastreamento com um mínimo de 1 hora 30 minutos em cada vértice;



- Informações das órbitas dos satélites (Precisas, Rápidas ou Transmitidas) quando necessárias;
- Máscara de elevação não inferior a 10°;
- Sistema de Referência SIRGAS2000, para saída dos resultados;
- Utilização de vetores independentes;
- Intervalo de gravação não superior a 5 (cinco) segundos.

Os vértices receberam nomenclatura com prefixo SC (de Seção de Controle para Monitoramento) e numeração sequencial a contar da seção mais a jusante (SC03) para montante (SC01); e foram implantados nas margens do Reservatório materializados por marcos de concreto. Abaixo são apresentadas fotografias dos vértices implantados, na sequência é apresentado o modelo com as dimensões dos marcos implantados.



*Figura 43 - Seção 1: SC01 / SC01AZ.*



*Figura 44 - Seção 2: SC02 / SC02AZ.*



*Figura 45 - Seção 3: SC03 / SC03AZ.*

As dimensões dos marcos implantados para Seções Topobatimétricas de Controle são Marco de Concreto tronco piramidal com as dimensões de 10 cm x 15 cm x 40 cm com base quadrada de concreto de 50 cm x 50 cm.

### **13.2. Processamento dos Vértices das Seções**

O processamento dos Pontos de Controle de Qualidade foi realizado conforme descrição metodológica explicitada no **Capítulo 3.3 Levantamento, Processamento e Ajustamento**.

### **13.3. Levantamento Topobatimétrico**

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

O levantamento tem como pontos de partida os vértices implantados nas margens do Reservatório, e foi realizado por Estação Total e/ou receptor RTK.

Para o caso do levantamento com Estação Total as irradiações foram feitas simultaneamente com o desenvolvimento da poligonal e conforme seja necessário serão implantados pontos auxiliares para transporte de coordenadas e cotas. Para o levantamento com receptor RTK os dados foram medidos em tempo real e armazenados para posterior validação em escritório.

Os serviços foram realizados ao longo do alinhamento de cada Seção levantando-se pontos na parte seca a cada 10 m e/ou a cada diferença de altitude do relevo maior que 50 cm, os pontos de mudança de estação foram materializados (estaqueados) por piquetes e estacas.

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

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

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

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

### **13.3.1. Levantamento por Estação Total**

Devido à grande cobertura de vegetação na região não foi possível realizar todo levantamento por GNSS ou tecnologia RTK. Para realizar os levantamentos foram utilizadas técnicas de levantamento topográfico utilizando estação total por meio de leituras angulares e distâncias (topografia convencional).

Não obtivemos autorização de supressão de vegetação de maneira que não foi possível a abertura de clareiras para conseguirmos realizar rastreios GNSS nos pontos necessários para o fechamento das poligonais.

Outro fator que dificulta a realização dos trabalhos são os desvios necessários das árvores, agregando vários pontos auxiliares de poligonação.

Mediante a peculiaridade da situação e buscando a completude da realização dos serviços, alguns levantamentos foram realizados por topografia convencional e/ou com RTK.

Os métodos adotados para os Levantamentos Planialtimétricos estão apresentados nos tópicos abaixo.

#### **13.3.1.1. Método da Poligonação**

Uma poligonal consiste de um polígono irregular do qual são medidos os ângulos entre alinhamentos consecutivos e as distâncias entre os vértices vizinhos, para se determinar as coordenadas retangulares de seus vértices. Para o transporte de coordenadas utilizando este método foi necessário ter, pelo menos, dois pontos de coordenadas conhecidas. O método utilizado é apresentado na Figura a seguir.

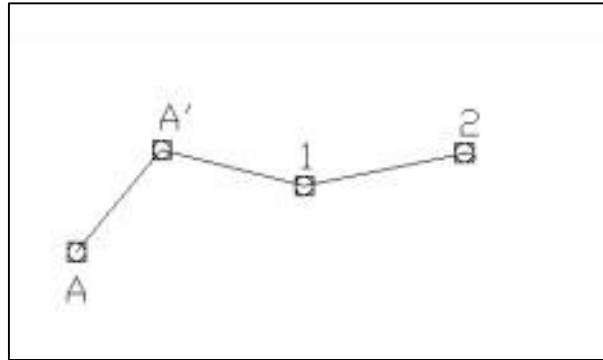


Figura 46 - Exemplo de Poligonal, apoiada em dois pontos (A e A').

Os pontos de coordenadas conhecidas são: A e A'. Os outros pontos (1 e 2) são os pontos que se deseja determinar as coordenadas.

### 13.3.1.2. Método das Irradiações

Este processo é utilizado para levantamento de pequenas áreas ou, principalmente como método auxiliar a Poligonação, e consiste em escolher um ponto conveniente para instalar o aparelho, podendo este ponto estar dentro ou fora do perímetro, tomando nota dos azimutes e distâncias entre a Estação Total e cada ponto visado.

O método das Irradiações é o mais utilizado para levantamentos de detalhes. Pode ser utilizado para um ou vários pontos em que se desejam obter as coordenadas. O método utilizado é apresentado na Figura abaixo.

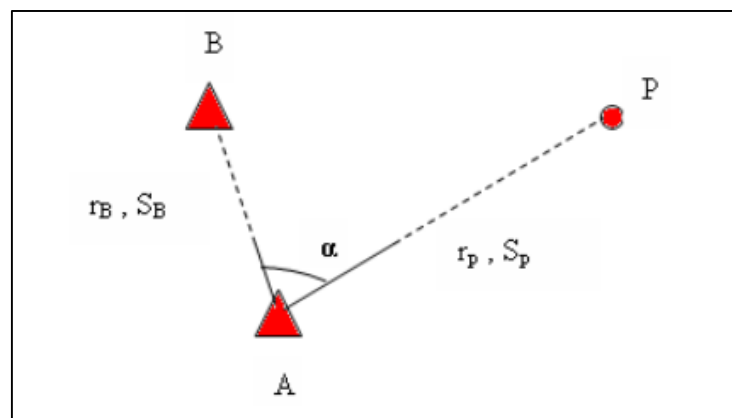


Figura 47 - Exemplo do Método das Irradiações {Fonte: Kahmen e Faig (1988)}.

Onde:

$\alpha = (r_P - r_B)$  = diferença entre as direções  $r_P$ ,  $r_B$ .

$AZ_{AB}$  = azimuth de AB;

$r_P$ ,  $r_B$  = direções medidas; e

$S_P$  = distância medida.



As figuras abaixo mostram exemplos de fotografias da coleta de informação para Seções Topobatimétricas.



*Figura 48 - Levantamento de Seções Topobatimétricas de Controle com Estação Total.*

### **13.3.2. Levantamento por RTK**

Os levantamentos executados por RTK foram realizados a partir dos Vértices das Seções Topobatimétricas e/ou por Vértices Auxiliares. Os dados de correção foram transmitidos por meio de um link de rádio do receptor instalado no vértice de referência ao receptor que percorre a seção de interesse, coletando os pontos de medição. A solução encontrada é uma linha de base única com prévia solução fixa do vetor das ambiguidades para cada ponto.



*Figura 49 - Exemplo de Levantamento de Seções Topobatimétricas com receptor RTK.*

### **13.4. Processamento**

Os processamentos dos Levantamentos Topográficos dos dados obtidos com Estação Total foram realizados utilizando-se o software *Topograph SE, versão 4.03*, a visualização dos dados RTK



foi realizada pelo software Trimble Business Center, versão 3.03, seguindo a descrição da metodologia e as especificações abaixo:

- Sistema de Referência SIRGAS2000, para processamento e entrega dos resultados;
- Verificação de dados das Poligonais, as leituras foram avaliadas e eliminadas quando as mesmas influenciavam significativamente nas diferenças (distâncias, desníveis e ângulos) de ré e vante; e
- Cálculo das Irradiações a partir dos vértices implantados, rastreados e/ou pontos das poligonais.
- Os dados foram exportados para o AutoCAD Map 3D para edição dos desenhos.

### **13.5. Levantamentos Batimétricos**

Os levantamentos batimétricos foram realizados a bordo de embarcações utilizando-se de ecobatímetro para medição de profundidades numa alta taxa de amostragem e de um receptor RTK para o posicionamento planimétrico diferencial em tempo real.

A metodologia de coleta é a mesma descrita anteriormente no *Capítulo 6 - Levantamento Batimétrico*, apenas voltada à coleta de dados para uma única seção.

### **13.6. Desenhos das Seções de Controle**

Na medida em que o levantamento foi executado, foram sendo elaborados croquis do levantamento, a fim de mitigar as dúvidas durante a elaboração das plantas topográficas. De posse dos dados de estação e das coordenadas dos pontos de partida, os processamentos foram executados com auxílio dos softwares de processamentos.

Os dados foram exportados para o *AutoCAD Map 3D* para edição dos desenhos.

Foram gerados os desenhos das Seções Topobatimétricas contendo todos os pontos do Levantamento. Esses desenhos foram sistematizados e padronizados, a Figura a seguir mostra um exemplo desses desenhos.

A indicação dos Níveis d'Água foi realizada conforme Desenho, mostrando o NA coletado no dia e horário do Levantamento Batimétrico para cada Seção.

Figura 50 - Desenho da Seção Topobatimétrica de Controle SC01.

### 13.7. Resultados Obtidos

O Levantamento das Seções Topobatimétricas de Controle é caracterizado pelos Levantamentos Topográficos e Batimétricos das Seções pré-estabelecidas. Uma fusão de metodologia que permite obtenção da continuidade da morfologia do terreno embaixo da massa de água do rio.

Os serviços na parte seca (terreno sobre a superfície) contemplaram o levantamento das seções topográficas a partir do Nível da Água até atingir a cota maximorum do Reservatório.

#### 13.7.1. Implantação de Vértices de Apoio às SC's

A Tabela a seguir apresenta as coordenadas dos Vértices Implantados para Seções Topobatimétricas de Controle.

Tabela 16 - Lista de Coordenadas dos Vértices Implantados para as SC's.

SISTEMA DE REFERÊNCIA SIRGAS 2000,4 / DATUM VERTICAL IMBITUBA-SC (Ajuste 2018)									
Vértice	COORDENADAS UTM - F22S				COORDENADAS GEODÉSICAS				Altitude Ortométrica (m)
	Este (m)	$\sigma$	Norte (m)	$\sigma$	Latitude (° ' ")	Longitude (° ' ")	Altitude Geométrica (m)	$\sigma$	
SC01	280469,031	0,000	6773942,961	0,000	S29°08'38,75947"	O53°15'24,26936"	282,369	0,000	273,336
SC01AZ	279742,033	0,000	6773694,986	0,000	S29°08'46,35679"	O53°15'51,33290"	294,971	0,000	285,930
SC02	280623,044	0,000	6773353,973	0,000	S29°08'57,97837"	O53°15'18,99121"	276,414	0,000	267,384
SC02AZ	279924,057	0,000	6773287,987	0,000	S29°08'59,68473"	O53°15'44,89056"	320,563	0,000	311,525
SC03	279950,075	0,000	6768533,056	0,000	S29°11'34,08041"	O53°15'47,31592"	237,495	0,000	228,469
SC03AZ	279451,024	0,000	6768286,053	0,000	S29°11'41,78716"	O53°16'05,95784"	254,018	0,000	244,987

#### 13.7.2. Levantamento Topobatimétrico das Seções

##### 13.7.2.1. Seção Topobatimétrica com Estação Total / RTK

Os trechos e/ou Seções Topobatimétricas que foram levantadas por Estação Total / RTK tiveram seus pontos registrados e coletados através da medição da superfície, os levantamentos topográficos foram executados a partir dos Vértices das Seções Topobatimétricas mencionados acima. As irradiações foram feitas simultaneamente com o desenvolvimento da poligonal (Estação Total) e leitura direta (RTK). Conforme surgia a necessidade foram implantados pontos auxiliares para transporte de coordenadas e cotas.

No **Anexo 10E** são apresentados os Relatórios de Processamento dos resultados obtidos por Estação Total para os levantamentos realizados. No **Anexo 10C** são apresentados os Arquivos Brutos obtidos pela Estação Total.

No **Anexo 10F** são apresentados os Relatórios de Processamento RTK para os vértices auxiliares utilizados e dos resultados obtidos para os outros levantamentos realizados. No **Anexo 10D** são apresentados os Arquivos Brutos obtidos pelos receptores RTK.

No **Anexo 10A** são apresentados as Planilhas de Coordenadas das Seções Topobatimétricas levantadas para cada Seção.

#### **13.7.2.2. Seção Topobatimétrica com Ecobatímetro**

Os trechos e/ou Seções Topobatimétricas que foram levantados por ecobatímetro tiveram a coleta automatizada conforme descrição da metodologia do levantamento batimétrico.

O espaçamento utilizado para os pontos da batimetria dados pela configuração do ecobatímetro e foi prevista para saída do processamento com um ponto a cada 2 metros. Os Níveis d'Água - NA's do início e final da medição de cada seção batimétrica foram lidos, e também anotados o dia e hora correspondentes. As profundidades foram medidas a partir do nível d'água e foram subtraídas das altitudes elipsoidais obtidas para cada ponto coletado.

Os levantamentos foram executados por ecobatímetro acoplado no receptor RTK, com obtenção dos resultados em tempo real, a partir dos Vértices das Seções Topobatimétricas mencionados acima.

No **Anexo 10G** são apresentados os Arquivos do Levantamento Batimétrico.

No **Anexo 10A** são apresentados as Planilhas de Coordenadas das Seções Topobatimétricas levantadas para cada Seção de Controle.

### **13.8. Produtos Entregues na Etapa de Implantação da SC's**

- 1) Arquivo do Google Earth contendo distribuição espacial dos vértices utilizados, no formato \*.KMZ, contido no Anexo 1;
- 2) Monografia detalhada do vértice implantado para RVG, em específico o PA01, no formato \*.PDF, contida no Anexo 2B;
- 3) Desenhos das Seções Topobatimétricas de Controle, em Planta e Perfil, no formato \*.DWG, contida no Anexo 10A;
- 4) Monografias detalhadas dos vértices implantados para Seções Topobatimétricas de Controle, no formato \*.PDF, contida no Anexo 10B;
- 5) Dados digitais do sistema de coleta da Estação Total (dados de medição), contidos no Anexo 10C;
- 6) Dados digitais do sistema de coleta do receptor GNSS-RTK (dados de rastreamento), contidos no Anexo 10D;
  - i. Arquivos Rinex II e originais dos vértices ocupados;

- ii. Planilha de campo contendo as informações realizadas no rastreo, no formato \*.PDF.
- 7) Relatórios técnicos de Processamento dos dados da Estação Total, no formato \*.PDF, contidos no Anexo 10E;
- 8) Relatórios técnicos de Processamento e Ajustamento dos dados GNSS-RTK, no formato \*.PDF, contidos no Anexo 10F;
- 9) Dados digitais do sistema de coleta do ecobatímetro (dados de medição), contidos no Anexo 10G:
  - i. Arquivos Brutos, no formato \*.RAW;
  - ii. Arquivos Editados:
    - 1. Soundings editadas, no formato \*.RAW;
    - 2. Malhas de Pontos Resultantes, no formato \*.TXT;
    - 3. Ecogramas resultantes, no formato \*.PDF
    - 4. Planilha de Coordenadas, no formato \*.XLSX;
- 10) Planilha de coordenadas contendo informações dos Vértices das SC's apresentadas em Coordenadas Geodésicas e no Sistema UTM, no referencial SIRGAS2000, no formato \*.PDF, contidas no Anexo 10H;
- 11) Registros Fotográficos dos Vértices implantados, no formato \*.JPEG, contidos no Anexo 10I;



## **14. CONTROLE DE QUALIDADE DOS SERVIÇOS REALIZADOS**

O Controle de Qualidade dos Serviços Realizados (Levantamento, Processamento e Ajustamento dos Vértices) corresponde ao processo da TOPOCART cujas atividades visam garantir e atender à qualidade prevista para essa etapa. As atividades de controle da qualidade realizadas para os produtos, dessa etapa, foram descritas a seguir:

### **14.1. Conferência dos Equipamentos**

1. Checagem do tipo de equipamento utilizado: tipo, marca, modelo, modelo de antena e código;
2. Checagem do perfeito funcionamento dos equipamentos;

### **14.2. Execução dos Trabalhos de Campo**

3. Avaliação da localização dos Vértices Oficiais de Referência existentes;
4. Avaliação da localização dos vértices a serem implantados na Rede de Vértices Geodésicos do Reservatório, para o Modelo Geoidal Local e Seções Topobatimétricas de Controle;
5. Avaliação do local dos marcos existentes passíveis de reocupação

### **14.3. Dados Coletados no Rastreio dos Pontos**

6. Conferência dos arquivos recebidos (fotos de campo, croquis e arquivo GNSS);
7. Checagem da conversão dos arquivos para RINEX II;
8. Conferência dos arquivos organizados nos diretórios;
9. Verificação das cadernetas de campo;

### **14.4. Dados Coletados no Nivelamento Geométrico**

10. Conferência dos arquivos recebidos (fotos de campo, coordenadas dos PS's e arquivos \*.GSI);
11. Conferência dos arquivos organizados nos diretórios;
12. Verificação das cadernetas de campo;

### **14.5. Dados Coletados no Levantamento Batimétrico**

13. Checagem da montagem na embarcação dos Ecobatímetro / RTK;
14. Aferição da profundidade a partir das medidas obtidas no transdutor;
15. Validação dos parâmetros de coleta pela tela do software no ato de tomada dos dados;
16. Conferência dos arquivos recebidos (fotos de campo e arquivos \*.RAW);
17. Conferência dos arquivos organizados nos diretórios;
18. Checagem dos NA's obtidos com as cadernetas de variação do nível d'água;
19. Verificação das observações registradas;
20. Conferência dos resultados e informações constantes para geração da Planta Batimétrica;
21. Conferência de representação das isóbatas e linhas de sondagem percorridas;
22. Conferência do layout, tamanho dos textos, conectividade dos vetores, visualização das informações digitais; e
23. Conferência sobre a plotagem final.

**14.6. Dados Coletados para Seções Topobatimétricas de Controle**

24. Conferência da completude das informações coletadas para Seções Topobatimétricas (por estação total, RTK e por ecobatímetro);
25. Conferência dos arquivos recebidos (fotos de campo, croquis, arquivo GNSS, RTK, M21);
26. Checagem da conversão dos arquivos para RINEX II;
27. Conferência dos arquivos organizados nos diretórios;
28. Verificação das cadernetas de campo;

**14.7. Processamento e Ajustamento**

29. Avaliação dos vetores processados através do relatório de processamento e ajustamento;
30. Conferência dos resultados obtidos para atendimento das especificações;
31. Avaliação do ajustamento através do relatório de ajustamento;
32. Conferência, através de testes condicionais, das precisões de todas as coordenadas (desvios-padrão de E, N, h) e ainda da resultante das componentes dos desvios-padrão;
33. Para o nivelamento análise dos resultados obtidos mediante fechamento do circuito e conferência do atendimento das especificações;

**14.8. Elaboração do MGL**

34. Avaliação dos resultados obtidos (rastreo GNSS e nivelamento);
35. Comparação com as ondulações do Modelo Geoidal IBGE MAPGEO2015 V1;
36. Análise das isolinhas a partir das ondulações reais obtidas;
37. Validação do modelo obtido com os todos os pontos rastreados/nivelados;
38. Conferência das informações constantes da planta do MGL;

**14.9. Base Cartográfica Atualizada 1:10.000**

39. Avaliação de qual referencial que a Base fornecida pelo Cliente está;
40. Compatibilização com as Referências Oficiais do SGB, Ajustamento 2018;
41. Realização do *Teste de Carta* na Base Cartográfica Atualizada;
42. Junção da Cartografia Existente (parte seca) com a Batimetria (parte molhada);
43. Conferência dos resultados e informações constantes;
44. Conferência de representação de todos os elementos cartográficos;
45. Conferência do layout, tamanho dos textos, conectividade dos vetores, visualização das informações digitais; e
46. Conferência sobre a plotagem final.

**14.10. Desenhos das Seções Topobatimétricas**

47. Conferência da escala utilizada para representação das informações;
48. Conferência de representação de todos os elementos;
49. Conferência do layout de cada planta, tamanho dos textos, conectividade dos vetores, visualização das informações digitais; e
50. Conferência sobre a plotagem final.

**14.11. Dados Técnicos**

51. Análise dos procedimentos metodológicos seguidos, em atendimento às Especificações e Normas Técnicas;

52. Validação dos produtos gerados;

#### **14.12. Monografias de Vértices Implantados**

- 53. Conferência dos itinerários utilizando o Google Earth;
- 54. Conferência da coerência nos textos gerados, da conectividade entre as palavras, se todas as indicações de nomes próprios foram iniciadas por letra maiúscula e a correta pontuação;
- 55. Conferência do tamanho das fotos de campo e croquis;
- 56. Conferência da existência de apenas um itinerário / foto do campo / imagem do Google Earth para cada vértice e que eles estão tratando da mesma informação em cada item.

## 15. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados apresentados e os materiais entregues, conclui-se que os produtos gerados para as etapas IMPLANTAÇÃO DA RVG, NIVELAMENTO GEOMÉTRICO e CONFECÇÃO DO MODELO GEOIDAL LOCAL possuem qualidade compatíveis com o estabelecido na Especificação Técnica disponibilizada pela CEEE-GT e da metodologia e com o preconizado na Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 1/2014/AA-ANA, além das Normas Técnicas vigentes das áreas de Cartografia, Topografia e Geodésia utilizadas para esse projeto.

A RVG foi implantada buscando espaçamento regular entre os vértices, de maneira que um limite de abrangência do reservatório ficasse preenchido, oferecendo suporte a futuros trabalhos e condicionante para amarrações de levantamentos topográficos e batimétricos que se fizerem necessários.

Deve-se considerar que o Nivelamento Geométrico esteve condicionado às restrições de acessos, dificultando a realização do mesmo, obtendo-se um circuito único circundando o reservatório.

Para geração do Modelo Geoidal Local, em função dos resultados dos trabalhos realizados, tanto em campo quanto no processamento das informações de Rastreios GNSS e Nivelamento Geométrico, constatam-se tanto em sua totalidade quanto de forma pontual que as ondulações resultantes mostram consistência baseada na análise da circunvizinhança de cada vértice medido (Altitude Geométrica e Ortométrica).

Observa-se uma diferença aproximada de 15 cm quando comparadas as ondulações geoidais obtidas pelo Modelo Geoidal Local e o IBGE MAPGEO 2015 V1, a diferença é variável e ligada à localização dos pontos analisados e não configuram uma constante para a área do projeto. Os valores das diferenças variam de 0,08 m à 0,27 m.

Na comparação das Curvas CAV Antiga X CAV 2019 foram analisadas a redução de Área e Volume para cada cota dentro do reservatório, porém, ressalta-se que as metodologias de cálculos realizadas são diferentes e consequentemente geram resultados distintos. A comparação de Volume de Itaúba de é notável grande diferença do atual com o antigo, podendo existir inconsistências nos cálculos da Cota x Volume antiga. Para qualquer conclusão sobre assoreamento é necessária uma análise mais pontual e específica sobre diferenças apresentas na Curva CAV entre Levantamento Atual e Antigo.

O Controle de Qualidade das etapas foi realizado garantindo que a execução dos serviços e a geração dos produtos atendam às precisões exigidas para utilização dos produtos finais necessários para Implantação da Rede Geodésica para o Reservatório, Reocupação dos Vértices Existentes, Elaboração do Modelo Geoidal Local e Apoio Suplementar para o Levantamento Aerofotogramétrico.

## **16. DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS**

- 2 (dois) Veículos, tipo caminhonete 4 x 4, Toyota Hilux (2);
- 5 (cinco) Receptores GNSS, Marca TRIMBLE, Modelo R8 e acessórios;
- 2 (dois) Receptores RTK / GPS/GNSS Marca Trimble Modelo R8-3 e acessórios;
- 2 (dois) Receptores RTK / GPS/GNSS Marca Topomap Modelo T20 e acessórios;
- 3 (três) Receptores GPS de navegação, marca Garmin, modelo Etrex;
- 2 (duas) Câmeras fotográficas digitais;
- 2 (dois) Nível Topográfico, Marca LEICA, Modelo DNA10 e LS15 e acessórios;
- 1 (uma) Estação Total, Marca LEICA, Modelo TC407 e acessórios;
- 2 (dois) Ecobatímetro digital, Marca Teledyne, Modelos Hydrotrac e CVM;
- 2 (dois) Notebooks Marca HP Modelo Pavilion04 e Lenovo Ideapad 330;
- 1 (um) Software ArcGis, versão 10.3;
- 1 (um) Software Trimble Business Center, versão 3.03;
- 1 (um) Software AutoCad Map 2014 3D;
- 1 (um) Software Topograph SE;
- 1 (um) Software Hypack 2019;
- 1 (um) Software ODOM eChart, visualização digital das profundidades (ecogramas) e coleta dos dados batimétricos.
- 1 (um) Barco de alumínio com 6 m de comprimento 1,20 m de boca com motor de 15 HP.



## 17. DESCRIÇÃO DA EQUIPE TÉCNICA

- |                                 |   |
|---------------------------------|---|
| ▪ Givanildo José Silva          | Diretor Técnico                           |
| ▪ Maicon Rodrigues de Oliveira  | Supervisor de Cartografia                 |
| ▪ André Vinícius Hall Oliveira  | Gerente do Setor de Topografia e Geodésia |
| ▪ Ivan Oliveira Neves           | Coord. de Topografia e Geodésia           |
| ▪ Luciane Siqueira              | Gerente do Setor de Edição Cartográfica   |
| ▪ Ademir Felix                  | Analista Técnico (Desenhista)             |
| ▪ Danillo Alves de Almeida      | Analista Técnico (Desenhista)             |
| ▪ Joab Pereira dos Santos       | Analista Técnico (Desenhista)             |
| ▪ Mauricio Alves Ribeiro        | Assistente Técnico (Desenhista)           |
| ▪ Valderino Fecundes de Santana | Téc. GPS / Cadastrador II                 |
| ▪ Alex Sandro Serafim           | Topógrafo II                              |
| ▪ José Neves dos Santos         | Topógrafo I                               |
| ▪ Francisco Modesto Neves       | Topógrafo I                               |
| ▪ Claudinei Ferreira dos Santos | Auxiliar de Topografia I                  |

**ANEXO 1 - ARQUIVO KMZ (APENAS DIGITAL)**

**ANEXO 2 - REDE DE VÉRTICES GEODÉSICOS**

- 2A - Monografias dos Vértices de Referência Oficiais
- 2B - Monografias dos Vértices Implantados para RVG
- 2C - Planilha de Coordenadas da RVG
- 2D - Registros Fotográficos (APENAS DIGITAL)
- 2E - Relatórios de Processamento e Ajustamento GNSS (APENAS DIGITAL)
- 2F - Arquivos Brutos GNSS (APENAS DIGITAL)

**ANEXO 3 - NIVELAMENTO GEOMÉTRICO**

- 3A - Relatórios do Processamento do Nivelamento Geométrico (APENAS DIGITAL)
- 3B - Arquivos Brutos do Nivelamento Geométrico (APENAS DIGITAL)
- 3C - Registros Fotográficos (APENAS DIGITAL)

**ANEXO 4 - MODELO GEOIDAL LOCAL**

- 4A - Desenho do MGL
- 4B - Superfície Geotiff do MGL (APENAS DIGITAL)
- 4C - Registros Fotográficos (APENAS DIGITAL)
- 4D - Relatórios de Processamento e Ajustamento GNSS (APENAS DIGITAL)
- 4E - Arquivos Brutos GNSS (APENAS DIGITAL)
- 4F - Planilha de Coordenadas do MGL



**ANEXO 5 - PONTOS DE CONTROLE DE QUALIDADE**

- 5A - Planilha de Coordenadas do CQ
- 5B - Registros Fotográficos (APENAS DIGITAL)
- 5C - Relatórios de Processamento e Ajustamento GNSS (APENAS DIGITAL)
- 5D - Arquivos Brutos GNSS (APENAS DIGITAL)
- 5E - Relatório de Qualidade GeoPEC

**ANEXO 6 - LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO**

- 6A - Arquivos do Levantamento Batimétrico (Seções Brutas e Editadas) (APENAS DIGITAL)

## **ANEXO 7 - BASE CARTOGRÁFICA ATUALIZADA**

**ANEXO 8 - MODELO DIGITAL**

- 8A - Modelo Digital do Terreno (Reservatório, Entorno e Geral) (APENAS DIGITAL)

**ANEXO 9 - CURVAS CAV**

- 9A - Curvas CAV (geradas a cada cm e a cada 50 cm)
- 9B - Comparação das Curvas CAV Antiga x 2019 (geradas a cada cm e a cada 50 cm)



**ANEXO 10 - SEÇÕES TOPOBATIMÉTRICAS DE CONTROLE**

- 10A - Desenhos das SC's
- 10B - Monografia dos Vértices Implantados para SC's
- 10C - Arquivos Brutos de Estação (APENAS DIGITAL)
- 10D - Arquivos Brutos GNSS-RTK (APENAS DIGITAL)
- 10E - Relatórios de Processamento de Estação (APENAS DIGITAL)
- 10F - Relatórios de Processamento e Ajustamento GNSS-RTK (APENAS DIGITAL)
- 10G - Arquivos do Levantamento Batimétrico (Seções Brutas e Editadas) (APENAS DIGITAL)
- 10H - Planilha de Coordenadas das SC's
- 10I - Registros Fotográficos (APENAS DIGITAL)