



**Relatório de Elaboração da CAV**

## **ANA CAV - Açudes**



CONTRATO N°	EMITIDO POR:	VERSÃO - DATA
N° 006/2017/ANA	MARCELO PEREIRA	1.0 - 20/12/2017
LOTE 02 - AÇUDE ENGENHEIRO SEVERINO GUERRA (BITURI)		



Cliente:	ANA – Agência Nacional de Águas
Endereço:	Área 5, Quadra 3, Bloco “M” – Brasília/DF
Contato:	Alexandre do Prado
Telefone/Cel:	(61) 2109-5198
E-mail:	<a href="mailto:aleprado@ana.com.br">aleprado@ana.com.br</a>



## Relatório de Elaboração da CAV

# ANA CAV - Açudes



Florianópolis, 20 de dezembro de 2017.

## SUMÁRIO

---

<b>1. PERÍODO DE EXECUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2. OBJETO .....</b>	<b>8</b>
<b>3. FINALIDADE .....</b>	<b>8</b>
<b>4. LOCALIZAÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>5. DEFINIÇÕES.....</b>	<b>10</b>
5.1. LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO .....	11
5.2. LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO .....	12
<b>6. SISTEMA DE REFERÊNCIA GEODÉSICO.....</b>	<b>13</b>
<b>7. REDES DE APOIO BÁSICO .....</b>	<b>13</b>
7.1. DESENVOLVIMENTO DOS SERVIÇOS GEODÉSICOS .....	16
7.2. QUANTITATIVOS .....	17
7.3. POSICIONAMENTO GNSS .....	17
7.3.1. <i>Metodologia .....</i>	<i>17</i>
7.3.2. <i>Processamento e Análise dos Resultados .....</i>	<i>19</i>
7.4. NIVELAMENTO GEOMÉTRICO.....	24
7.4.1. <i>Metodologia .....</i>	<i>24</i>
7.4.2. <i>Linhas de Nivelamento Geométrico e Análise dos Resultados.....</i>	<i>26</i>
7.4.3. <i>Correlação de Cotas – Sistema Geodésico Brasileiro X Cota Referencial Local.....</i>	<i>31</i>
<b>8. MODELO GEOIDAL LOCAL.....</b>	<b>33</b>
<b>9. REDE DE APOIO SUPLEMENTAR .....</b>	<b>35</b>
9.1. QUANTITATIVOS .....	35
9.2. POSICIONAMENTO GNSS .....	35
9.2.1. <i>Metodologia .....</i>	<i>35</i>
9.2.2. <i>Processamento e Análise dos Resultados .....</i>	<i>37</i>
<b>10. LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO.....</b>	<b>41</b>
10.1. METODOLOGIA.....	41
10.1.1. <i>Levantamento Batimétrico Monofeixe .....</i>	<i>42</i>
10.1.2. <i>Levantamento Batimétrico Multifeixe.....</i>	<i>44</i>
10.1.3. <i>Calibração dos Equipamentos .....</i>	<i>46</i>
10.1.1. <i>Sensor e Perfilador de Velocidade de Som.....</i>	<i>48</i>

10.1.2. Amarração Altimétrica .....	50
10.2. LEVANTAMENTO DA ÁREA MOLHADA .....	51
10.2.1. Desenvolvimento dos Serviços.....	51
10.2.2. Monitoramento do Nível D'água. ....	53
10.2.3. Processamento dos Dados Batimétricos .....	55
10.2.4. Aquisição e Processamento dos Dados Batimétricos .....	55
10.2.5. Processamento dos Dados de Nível .....	56
10.2.6. Redução da Profundidade a Cota Ortométrica .....	57
10.3. RESULTADOS E ANÁLISES.....	58
10.4. CONTROLE DE QUALIDADE .....	61
<b>11. PERFILAMENTO LASER.....</b>	<b>67</b>
11.1. DETALHES TÉCNICOS DA EXECUÇÃO.....	67
11.2. TIPO, MODELO E CARACTERÍSTICAS DO PERFILADOR A LASER .....	72
11.3. NUVEM DE PONTOS.....	72
11.4. CONTROLE DE QUALIDADE DA NUVEM DE PONTOS .....	72
11.5. MODELO DIGITAL DO TERRENO E MODELO DIGITAL DE ELEVÇÃO.....	73
11.5.1. Modelo Digital de Elevação (MDE) .....	74
11.5.2. Modelo Digital de Terreno (MDT) .....	74
11.6. GERAÇÃO DAS CURVAS DE NÍVEL .....	75
<b>12. ELABORAÇÃO DAS CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME (CAV) .....</b>	<b>76</b>
12.1. METODOLOGIA DE ELABORAÇÃO DA CAV UTILIZANDO O SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO - SGB.....	76
12.2. METODOLOGIA DE ELABORAÇÃO DA CAV UTILIZANDO O SISTEMA DE REFERÊNCIA ALTIMÉTRICO LOCAL (COTA DE SANGRIA DO AÇUDE) .....	80
12.3. RESULTADOS .....	80
12.3.1. Comparação CAV Local com dados utilizados atualmente pela ANA e Governo do Estado de Pernambuco .....	82
<b>13. RELAÇÃO DOS RECURSOS UTILIZADOS.....</b>	<b>88</b>



13.1. EQUIPAMENTOS .....	88
13.2. EQUIPE TÉCNICA .....	88
<b>ANEXO I – COTA X ÁREA X VOLUME NO SGB.....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO II – COTA X ÁREA X VOLUME NO REFERENCIAL ALTIMÉTRICO LOCAL.....</b>	<b>90</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Açude Engenheiro Severino Guerra (Bituri) .....	9
Figura 2 - Rede de Apoio de 2º Ordem .....	15
Figura 3 - Rede de Apoio Básico Planialtimétrico de 2º Ordem .....	19
Figura 4 - Nivelamento Geométrico pelo Método das Visadas Equidistantes .....	24
Figura 5 - Referência de Nível do Posto de Réguas do Barramento do Açude Bituri ....	31
Figura 6 - Referência de Nível do Posto de Réguas do Barramento do Açude Belo Jardim .....	32
Figura 7 - Esquema ilustrando a incidência e reflexão da onda acústica no leito de um corpo aquático .....	42
Figura 8 - Componentes de um ecobatímetro monofeixe .....	43
Figura 9 - Mapeamento de um leito irregular .....	43
Figura 10 - Utilização de um feixe direcionado em um fundo irregular .....	44
Figura 11 - Esquema de funcionamento da batimetria multifeixe .....	45
Figura 12 - Ilustração dos ângulos de calibração .....	46
Figura 13 - Esquema ilustrativo da calibração do roll .....	47
Figura 14 - Esquema ilustrativo da calibração do pitch .....	47
Figura 15 - Esquema ilustrativo da calibração do yaw .....	48
Figura 16 - (A) Sensor de velocidade do som acoplado ao transdutor multifeixe; (B) Transdutor utilizado para obtenção da velocidade do som; (C) Diagrama simplificado do funcionamento do sensor de velocidade do som durante a aquisição .....	49
Figura 17 - (A) Perfilador de velocidade do som modelo Teledyne Odom Digibar S (B) Perfil de velocidade do som que é inserido no software .....	50
Figura 18 - Integração das técnicas batimétricas monofeixe e multifeixe aplicadas no Açude Bituri .....	52
Figura 19 - Linhas de controle de qualidade executadas no Açude Bituri .....	53
Figura 20 - Régua Linimétrica utilizada no monitoramento de nível do Açude Bituri ...	54
Figura 21 - Trecho da Tabela de Variação de nível de água na régua linimétrica do barramento do Açude Bituri .....	55
Figura 22 - Processamento e correção das linhas de sondagem multifeixe com o Seabat T20P no software pds2000, próximo à área do barramento do Açude Bituri .....	56
Figura 23 - Inserção da Referência Altimétrica e da Compensação Atmosférica .....	57
Figura 24 - Gráfico resultante do Processamento do Data Logger. Em verde, a variação centimétrica do nível da água ao longo do período em que o mesmo esteve na água	57



Figura 25 - Gráfico da variação de nível no barramento do açude Bituri .....	58
Figura 26 - Grid de pontos batimétricos .....	60
Figura 27 - Pontos de conferência utilizados para análise do modelo .....	62
Figura 28 - Modelo de avaliação espacial do controle de qualidade .....	64
Figura 29 - Cobertura do Perfilamento a Laser .....	68
Figura 30 - Controle de Qualidade do Perfilamento a Laser junto ao HV-002 .....	69
Figura 31 - Plano de Voo gráfico para realizar o Perfilamento a Laser .....	71
Figura 32 - Tipos de representação digital de superfície .....	74
Figura 33 - Amostra das Curvas de Nível geradas para o Açude Bituri .....	75
Figura 35 - Imagem (.tif) gerada para o açude Bituri a partir da construção do TIN, para inserir no processamento da CAV .....	77
Figura 36 - Trecho do Arquivo de Saída do Processamento da CAV .....	79
Figura 37 - Gráfico da CAV – SGB .....	81
Figura 38 - Gráfico da CAV – Nível altimétrico local .....	82
Figura 39 - Ficha Técnica vigente do açude Bituri .....	83

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variação angular obtida na calibração .....	48
Tabela 2 - Estatística das diferenças da batimetria originária .....	59
Tabela 3 - Estatística das diferenças das Linhas de Verificação .....	61
Tabela 4 - Análise dos Pontos de Conferência .....	65
Tabela 5 - Comparação entre pontos de verificação com valores do MDT .....	72
Tabela 6 - Análise estatística da comparação dos pontos de controle .....	73



## 1. PERÍODO DE EXECUÇÃO

---

As atividades descritas neste relatório foram executadas entre os dias 24/06/2017 e 20/12/2017.

## 2. OBJETO

---

Relatório Técnico referente aos itens 12.1 e 12.2 das Especificações Técnicas do Contrato ANA 006/2017 firmado em 29 de março de 2017, entre a Agência Nacional de Águas (ANA) e as empresas AEROSAT Engenharia e Aerolevantamentos Ltda., RURAL TECH Comércio e Serviços EIRELI e VISAOGEO Ltda., ora designadas Consórcio ARV, para a realização da atualização das Curvas Cota x Área x Volume de 30 açudes presentes na região Nordeste do Brasil e norte do Estado de Minas Gerais, por meio de levantamentos aerofotogramétricos da porção terrestre e levantamentos batimétricos da porção aquática.

## 3. FINALIDADE

---

No presente Relatório Técnico são descritas as atividades realizadas para a geração de Modelos Digitais de Elevação (MDE) e confecção das curvas Cota x Área x Volume (CAV) para o açude Engenheiro Severino Guerra (Bituri). Foram confeccionadas 2 (duas) CAV's, sendo uma delas atrelada ao Sistema de Referência empregado no Apoio Geodésico de Campo desta contratação e outra ao Sistema de Referência altimétrico local (nível de sangria).

## 4. LOCALIZAÇÃO

---

O açude Engenheiro Severino Guerra (Bituri), com área aproximada de 5 km<sup>2</sup>, encontra-se localizado no município de Belo Jardim, Estado de Pernambuco. Na Figura 1 é apresentada uma visão geral do polígono envolvente da área do reservatório sobre o qual realizou-se a geração de Modelos Digitais de Elevação (MDE) e a confecção das curvas Cota x Área x Volume (CAV's).





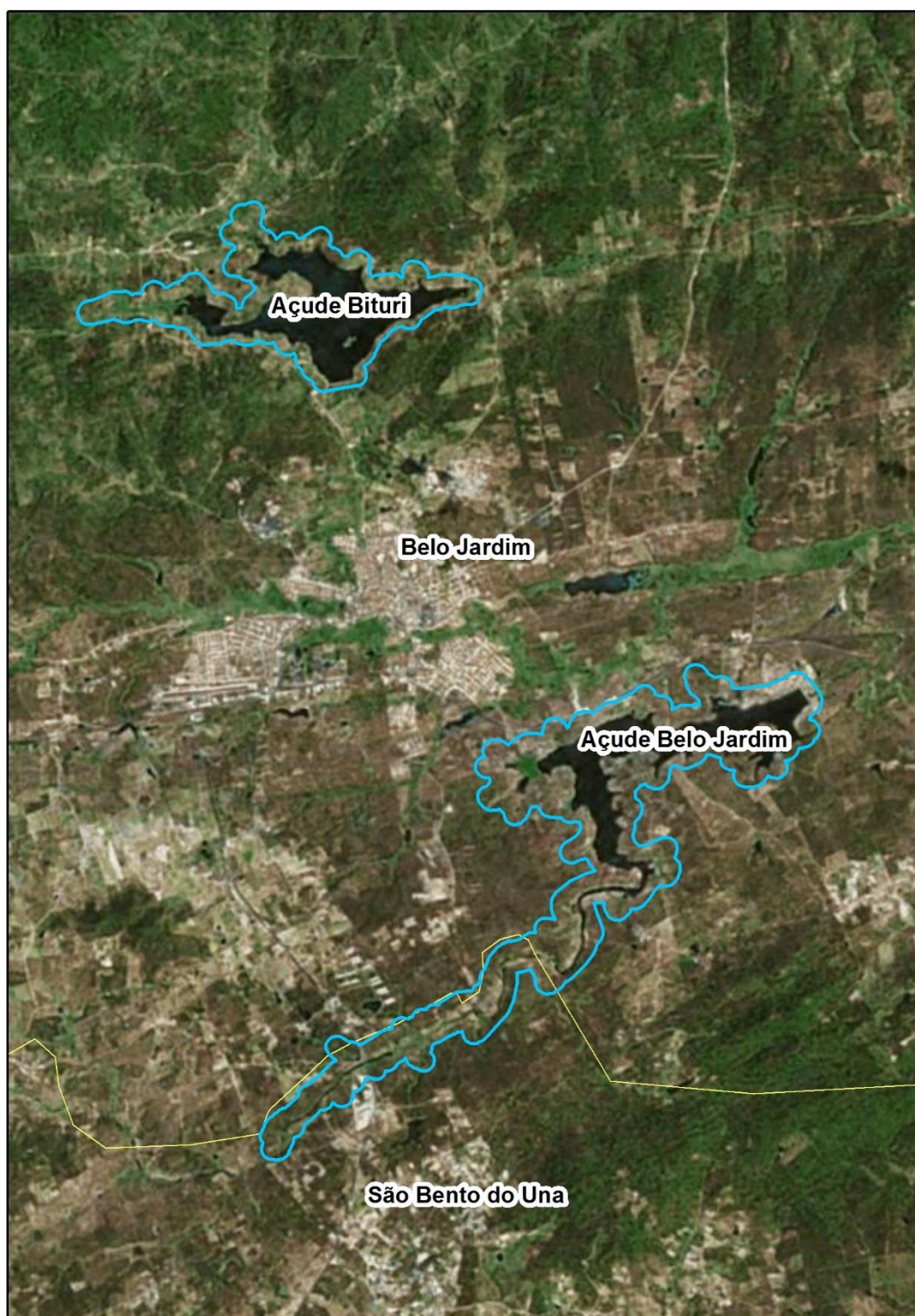


Figura 1 - Açude Engenheiro Severino Guerra (Bituri)



## 5. DEFINIÇÕES

---

Neste item serão elencadas as definições consideradas necessárias para o entendimento dos serviços e produtos realizados em etapas anteriores do contrato supracitado e indispensáveis para a geração das curvas Cota x Área x Volume (CAV's), as quais provêm de equações matemáticas<sup>1</sup>.

Para atingir tal objetivo foram executadas anteriormente as seguintes atividades: Apoio Geodésico de Campo, Perfilamento a Laser e Batimetria.

Para fins organizacionais, o Apoio Geodésico de Campo foi dividido em: Básico, Suplementar, Ondulação Geoidal e Pontos de Controle. A primeira refere-se exclusivamente na implantação de uma Rede de Referência Planialtimétrica de forma global para esse açude, a segunda está baseada na determinação de coordenadas de pontos fotoidentificáveis distribuídos ao longo das faixas de voo, os quais são empregados no processo da aerotriangulação (processo que permite a visualização dos modelos estereoscópicos tridimensionais), o terceiro compreende na determinação propriamente dita da Ondulação Geoidal, e o último consiste na determinação de coordenadas de pontos distribuídos ao longo das faixas de voo (dentro da área do açude) e servirão para atestar a qualidade técnica dos produtos gerados.

O Apoio Básico consiste de vértices implantados para caracterizar o Apoio Geodésico Planimétrico e Altimétrico de 2º Ordem, utilizados nos demais levantamentos Geodésicos e Cartográficos a serem realizados. Esses pontos formam uma Rede de Referência Planialtimétrica conjunta para os açudes Bituri e Belo Jardim. Esse conjunto de pontos, materializados em campo por marcos de concreto, tem suas coordenadas planialtimétricas obtidas a partir do Apoio Geodésico Planialtimétrico de 1º Ordem do IBGE.

O Apoio Suplementar consiste na determinação de coordenadas planialtimétricas de pontos distribuídos no início, final e ligação das faixas de voo, e devem estar em locais nítidos e bem definidos como edificações, cantos de muros, canto de cercas e outros detalhes fotoidentificáveis. O processo para a obtenção das coordenadas geodésicas dos pontos do Apoio Suplementar está baseado nos levantamentos com receptores GNSS geodésicos e amarrados aos vértices do Apoio Básico.

---

<sup>1</sup> Normalmente, a capacidade de armazenamento de um açude e a área do seu espelho d'água são dadas por equações matemáticas que correlacionam àqueles parâmetros com a sua cota observada (ou nível).



O Ondulação Geoidal está baseado nos levantamentos com receptores GNSS geodésicos sobre os vértices do Apoio Básico, na qual as coordenadas altimétricas são transformadas do referencial elipsoidal, também conhecidas como altitude geométrica ( $h$ ), para o ortométrico ( $H$ ). De forma simplificada, pode-se afirmar que a ondulação geoidal ( $N$ ) em um ponto qualquer é dada pela diferença entre as altitudes geométrica e ortométrica.

Os Pontos de Controle consistem na determinação de coordenadas planialtimétricas de pontos distribuídos ao longo das faixas de voo (dentro da área do açude). O processo para a obtenção das coordenadas geodésicas dos pontos do Apoio Suplementar está baseado nos levantamentos com receptores GNSS geodésicos e amarrados aos vértices do Apoio Básico Geodésico Planimétrico e Altimétrico de 2ª Ordem. Os Pontos de Controle não entraram no processo da Aerotriangulação, pois servirão para atestar a qualidade dos produtos gerados.

A Batimetria consiste na medição da profundidade de corpos hídricos (lagos, rios, mares, etc.) por meio de equipamentos denominados ecobatímetros. Estes baseiam-se na medição do tempo decorrido entre a emissão de um pulso sonoro, e a recepção do mesmo após ser refletido pelo fundo do corpo hídrico em estudo. Como resultado tem-se normalmente mapas em 2 dimensões (2D) com curvas que une os pontos da mesma profundidade equidistante verticalmente, semelhante aos mapas de curvas de nível topográfico, ou ainda, modelos em 3 dimensões (3D).

Para fins de entendimento deste relatório, o sistema de Perfilamento a Laser possibilita a obtenção de informações altimétricas da cena, permitindo o reconhecimento de alvos que se projetam acima da superfície, como edificações, vegetação, torres, linhas de transmissão, etc. O sistema faz uma varredura da superfície do terreno abaixo da aeronave e registra a distância até o solo para cada um dos pulsos emitidos, sendo registrada também a posição inercial do conjunto, de modo a conhecer a inclinação de cada feixe em relação à vertical do lugar. Estes sistemas dependem basicamente da detecção de luz refletida em uma superfície natural ou artificial.

### 5.1. LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO

---

No âmbito deste trabalho deve-se entender por:

Apoio Geodésico Planimétrico de 1º Ordem o conjunto de pontos materializados no terreno, distribuídos aleatoriamente no território nacional, com coordenadas obtidas geodesicamente, pertencentes ao Sistema Geodésico (SGB), os



quais proporcionam aos levantamentos terrestres ou espaciais o controle posicional, referenciando-os ao seu sistema de referência (datum) planimétrico. Os vértices da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro (ou do Apoio Geodésico Planimétrico de 1º Ordem) que foram empregados nas atividades de apoio geodésico de campo são apenas os do tipo SAT-GPS ou os pertencentes à RBMC/RIBAC.

Apoio Geodésico Planimétrico de 2º Ordem o conjunto de pontos materializados no terreno, com coordenadas cartesianas X e Y, ou geográficas, obtidas a partir de pontos do Apoio Geodésico Planimétrico de 1º Ordem, com a finalidade de servir de base planimétrica ao levantamento cartográfico dos açudes.

Apoio Geodésico Planimétrico Suplementar o conjunto de pontos fotointerpretáveis nas imagens aéreas úteis no processo de aerotriangulação, não necessariamente materializados em campo, cujas coordenadas planimétricas são obtidas a partir de pontos do Apoio Geodésico Planimétrico de 1º ou 2º Ordem.

## 5.2. LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO

---

No âmbito deste trabalho deve-se entender por:

Apoio Geodésico Altimétrico de 1º Ordem o conjunto de referências de nível (RRNN) materializadas no terreno, distribuídas aleatoriamente no território nacional, pertencentes ao Sistema Geodésico (SGB), as quais proporcionam aos levantamentos terrestres ou espaciais o controle altimétrico, referenciando-os ao seu sistema de referência (datum) altimétrico. Nesse projeto adotar-se-á o sistema de referência altimétrico brasileiro, ou seja, o Datum Imbituba, definido pela estação maregráfica do porto da cidade de mesmo nome, no Estado de Santa Catarina.

Apoio Geodésico Altimétrico de 2º Ordem o conjunto de pontos materializados no terreno, com altitudes obtidas a partir de pontos do Apoio Geodésico Altimétrico de 1º Ordem, servindo de suporte altimétrico aos levantamentos aerofotogramétricos e batimétricos como referência de nível.

Apoio Geodésico Altimétrico Suplementar o conjunto de pontos fotointerpretáveis nas imagens aéreas úteis no processo de aerotriangulação, não necessariamente materializados em campo, cuja coordenada altimétrica é obtida a partir de levantamentos GNSS sobre os mesmos, sendo a altitude elipsoidal obtida ao nível ortométrico empregando-se o Modelo Geoidal Local confeccionado.

A Ondulação Geoidal provém de um modelo físico da Terra, cuja forma é materializada por uma superfície equipotencial do campo gravitacional terrestre





(geoide) que, em média, coincide com o nível médio dos mares considerados em repouso, e do elipsoide, que por sua vez, é uma superfície matemática, resultante da rotação de uma elipse em torno do seu eixo menor, com forma e dimensões próximas ao geoide, e utilizada como referência nos levantamentos geodésicos. Estas superfícies, geralmente, não são coincidentes e nem paralelas, sendo a separação entre ambas denominada por Ondulação Geoidal (N).

## 6. SISTEMA DE REFERÊNCIA GEODÉSICO

---

Todos os serviços descritos neste relatório estão referenciados ao Datum Horizontal SIRGAS 2000 (Realização 2000,4) e as altitudes estão referenciadas ao Datum Vertical de Imbituba – SC, conforme os padrões estabelecidos pelo Sistema Geodésico Brasileiro (SGB/IBGE) e pelas regras presentes em Edital.

O processamento dos dados levantados foi efetuado na sede da empresa VisãoGeo LTDA, localizado no município de Florianópolis – Santa Catarina.

## 7. REDES DE APOIO BÁSICO

---

No âmbito deste trabalho tem-se que:

A Rede de Apoio Básico Planialtimétrico de 2º Ordem, cujas coordenadas planimétricas e altitudes elipsoidais foram determinadas por posicionamento empregando-se receptores GNSS, e as altitudes ortométricas foram determinadas por nivelamento geométrico com origem e fechamento em estações RRNN do IBGE, que compõem a Rede de Apoio Geodésico Altimétrico de 1º Ordem. Os vértices implantados fazem parte de uma rede de pontos que compõe a poligonal principal. Esta, por sua vez, trata-se de uma poligonal enquadrada, cujos marcos de origem e fechamento são vértices da Rede de Apoio Básico Planimétrico de 1ª Ordem implantado pelo IBGE (SAT).

A Rede de Apoio Básico Altimétrico de 2º Ordem cujas coordenadas planimétricas foram determinadas com uso de receptores GPS de navegação e as altitudes ortométricas foram determinadas por nivelamento geométrico, com origem e fechamento em estações RRNN, do IBGE que compõem a Rede de Apoio Geodésico Altimétrico de 1º Ordem.

Na Figura 2 são mostradas as linhas de nivelamento geométrico executadas e a disposição dos marcos da Rede de Apoio Básico Planialtimétrico de 2º Ordem, Rede



de Apoio Básico Altimétrico de 2º Ordem e Pontos de Segurança<sup>2</sup> implantados ao longo do açude Bituri e Belo Jardim.

---

<sup>2</sup> Pontos de Segurança (PS) são piquetes de madeira implantados a cada 1 (um) quilômetro sobre o trecho a ser nivelado, para que seja feita a aferição da diferença entre o nivelamento e o contranivelamento a cada quilômetro nivelado.





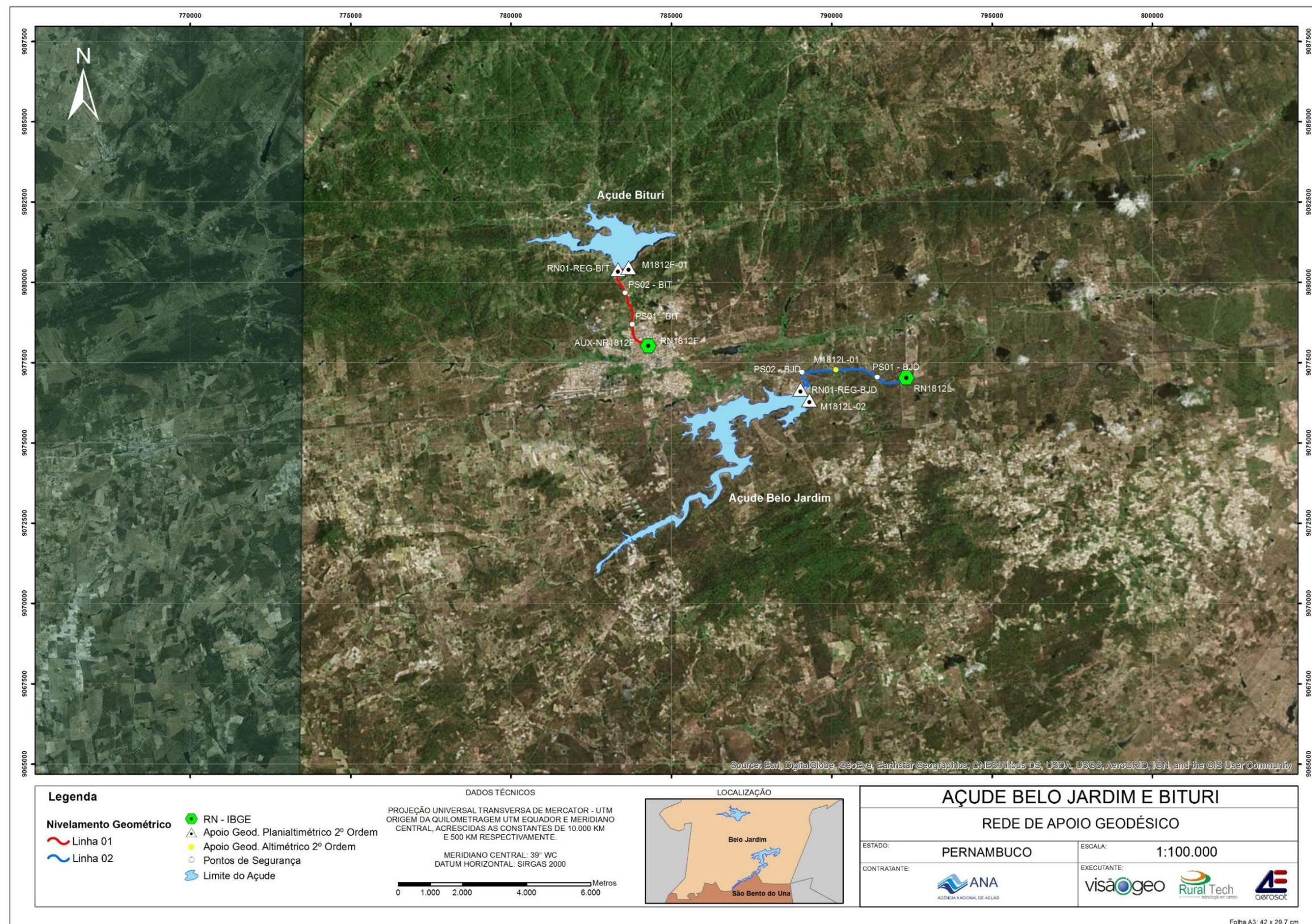


Figura 2 - Rede de Apoio de 2º Ordem

WWW.VISÃO GEO.COM.BR

RUA JUVÊNIO COSTA, 141 • TRINDADE • FLORIANÓPOLIS, SC • BRASIL •

TEL.: +55 48 3233-1031 • FAX: +55 48 3233-1031



## 7.1. DESENVOLVIMENTO DOS SERVIÇOS GEODÉSICOS

---

Os serviços tiveram início com a mobilização das equipes de topografia para o município de Belo Jardim - PE, no dia 21 de julho de 2017. Primeiramente, foram realizados estudos baseados em documentos, monografias de marcos já existentes no local, desenhos, mapas e outros dados pertinentes para traçar os planos de execução do trabalho, com os devidos cuidados em relação às especificações adotadas, à preservação ambiental e às recomendações da empresa contratante dos serviços.

A primeira etapa dos serviços foi identificar e localizar os marcos SAT e as RRNN existentes na região dos trabalhos, previamente selecionados. A partir da localização dos mesmos, foi realizada a determinação de quais desses seriam utilizados como pontos de partida, de chegada e/ou como pontos integrantes da Rede do Apoio Básico de 2º Ordem. Posteriormente, foi realizada a implantação dos demais marcos programados para compor as Redes do Apoio Básico de 2º Ordem.

Os serviços de nivelamento geométrico e o posicionamento GNSS foram realizados concomitantemente por 6 (seis) equipes distintas, sendo: 4 (quatro) equipes de nivelamento geométrico e 2 (duas) equipes de posicionamento GNSS.

O nivelamento geométrico das linhas foi realizado segundo metodologia descrita no Item 7.4.1 deste documento. Destaca-se que as coordenadas planimétricas dos marcos, que fazem parte apenas da Rede de Apoio Básico Altimétrico de 2ª Ordem, foram coletadas com GPS de navegação, com o objetivo de fornecer a localização desses marcos para futuras visitas de campo.

Para a determinação das coordenadas planimétricas dos marcos pertencentes a rede do Apoio Básico Planialtimétrico de 2ª Ordem, como descrito no Item 7.3.1 deste documento, foi utilizado o posicionamento GNSS relativo estático, onde no mínimo 2 (dois) receptores de dupla frequência, que simultaneamente rastreiam satélites por um período mínimo 4 (quatro) horas para os marcos que compõe a Rede do Apoio Básico Planialtimétrico de 2º Ordem.





## 7.2. QUANTITATIVOS

No Quadro 1 são listados os quantitativos de todos os produtos e insumos gerados durante os levantamentos topográficos e geodésicos executados nos açudes de Bituri e Belo Jardim para implantação da Rede de Apoio Básico Planialtimétrico de 2º Ordem e Rede de Apoio Básico Altimétrico de 2º Ordem.

Quadro 1 - Quantitativos dos Serviços Executados no Apoio Básico

RESUMO DOS QUANTITATIVOS DOS SERVIÇOS TOPOGRÁFICOS E GEODÉSICOS REALIZADOS NA REGIÃO DOS AÇUDES BITURI E BELO JARDIM - APOIO BÁSICO			
Descrição	Un.	Quantidade	
Nivelamento Geométrico de Precisão	Km	8,59	
Posicionamento GNSS	Un.	4	4hs
	Un.	36	Navegação
Elaboração de Monografias	Un.	5	

## 7.3. POSICIONAMENTO GNSS

### 7.3.1. Metodologia

A metodologia aplicada para obter as coordenadas dos marcos das Redes de Apoio Básico de 2º Ordem consiste no rastreamento, com o uso de receptores GNSS geodésicos de dupla frequência, no método de posicionamento relativo estático. A observável normalmente adotada no posicionamento relativo estático é a dupla diferença da fase de batimento da onda portadora.

Neste tipo de posicionamento, dois ou mais receptores de dupla frequência rastreiam, simultaneamente, os satélites das constelações GPS e GLONASS por um período de tempo superior à 4 (quatro) horas para os marcos da Rede de Apoio Básico Planialtimétrico de 2º ordem. Nesta contratação utilizar-se-á no processamento dos dados, a fase de batimento da onda portadora cuja precisão é superior ao da pseudodistância, que só é utilizada no pré-processamento para determinação de



coordenadas aproximadas das estações. Pode-se afirmar que este método é o mais preciso e o mais adequado para levantamentos geodésicos e geodinâmicos.

Os critérios para amarração dos marcos do Apoio Geodésico de 2º Ordem ao Sistema Planimétrico do IBGE de 1º Ordem foram os seguintes:

- a) Emprego de Rastreadores geodésicos GNSS de dupla frequência;
- b) GDOP/PDOP inferior a 4;
- c) Horizonte mínimo de rastreamento (máscara de elevação): 15°;
- d) Número mínimo de satélites rastreados simultaneamente durante o tempo de observação: 6;
- e) Tipo de solução de ambiguidade: fixo;
- f) Altura da antena: fixa em 2 metros (exceto nos marcos com pino de centragem forçada);
- g) Taxa de gravação dos dados máxima de 15 segundos;
- h) Linhas de base com comprimento inferior a 50 km;
- i) Tempo de ocupação superior a 4 horas;
- j) Implantação de no mínimo 2 vértices sobre o barramento do açude.

Os marcos foram rastreados com bastões de alumínio ou fibra de carbono com altura fixa de 2 metros. Com a padronização da altura dos bastões, evita-se o erro de anotação das alturas das antenas dos equipamentos, que é comum em levantamentos com grandes quantidades de marcos implantados.

A Rede de Referência Planimétrica foi materializada em campo por meio de uma poligonal enquadrada em vértices do Apoio Geodésico Planimétrico de 1º Ordem (tipo SAT) presentes na proximidade da área de interesse.

O processamento e ajuste das linhas base da poligonal e da rede final foram feitos utilizando o software Topcon Tools 8.2.3 da Topcon.



### 7.3.2. Processamento e Análise dos Resultados

Seguindo a metodologia descrita no Item 7.3.1 desse documento, para a materialização da Rede de Apoio Básico Planialtimétrico de 2º Ordem, foi formada uma poligonal enquadrada nos vértices do IBGE, do tipo SAT, marcos de códigos 93212 e 93717, cujas as monografias estão apresentadas no (Anexo VII do relatório do Apoio Geodésico de Campo). Nessa poligonal foram formadas 12 (doze) linhas de base que tiveram tempo de ocupação superior a 4 (quatro) horas e distância máxima de 50 quilômetros. No pós-processamento foram utilizadas as efemérides precisas para todos os dias de ocupação e todos os vetores tiveram as ambiguidades da fase da onda portadora resolvidas (fixadas), tendo todos os pontos ocupados atingido precisões de ordem milimétrica.

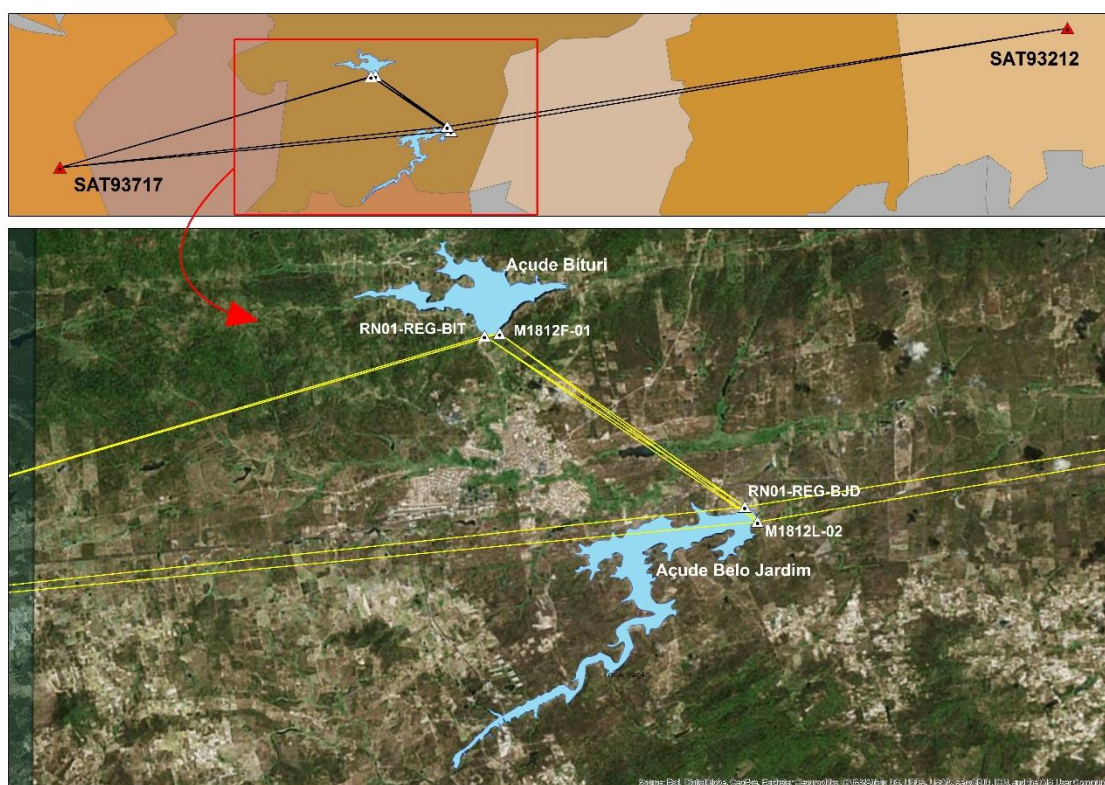


Figura 3 - Rede de Apoio Básico Planialtimétrico de 2º Ordem

Nos Quadro 2 e Quadro 3 são apresentadas para a Rede de Apoio Básico Planialtimétrico de 2º Ordem, as planilhas de processamento dos pontos, onde pode-se ver as coordenadas finais e os respectivos desvios padrões de cada vértice, e as



planilhas das observações e dos vetores formados, onde pode-se ver o tempo de observação, bem como os resultados do ajustamento de cada vetor.



Quadro 2 - Memória de Cálculo – GNSS – Apoio Básico Planimétrico de 2ª Ordem – Vetores

Name	Duration	Solution Type	PDOP	GPS Satellites	GLONASS Satellites	RMS	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)	Distance (m)
M1812F-01–M1812L-02	05:08:46	Fixed	2,264	17	11	0,007	0,003	0,006	6.981,242
M1812F-01–RN01-REG-BJD	05:15:16	Fixed	2,240	17	11	0,006	0,002	0,005	6.563,394
M1812F-01–RN01-REG-BIT	06:21:55	Fixed	2,331	17	13	0,001	0,001	0,001	335,254
M1812F-01–SAT93717	06:42:00	Fixed,Iono Free	2,341	17	13	0,017	0,007	0,015	24.578,175
M1812L-02–RN01-REG-BJD	05:00:05	Fixed	2,246	17	12	0,001	0,000	0,001	430,506
M1812L-02–RN01-REG-BIT	05:08:46	Fixed	2,303	17	11	0,007	0,003	0,006	7.221,349
M1812L-02–SAT93212	04:33:15	Fixed,Wide Lane	2,370	13	11	0,031	0,015	0,028	46.737,442
M1812L-02–SAT93717	05:08:46	Fixed,Iono Free	2,326	17	12	0,020	0,009	0,018	29.365,592
RN01-REG-BJD–RN01-REG-BIT	05:15:16	Fixed	2,276	17	11	0,006	0,003	0,006	6.807,222
RN01-REG-BJD–SAT93212	04:32:08	Fixed,Wide Lane	2,367	13	11	0,032	0,014	0,028	46.960,199
RN01-REG-BJD–SAT93717	05:15:16	Fixed,Iono Free	2,301	17	12	0,020	0,009	0,018	29.120,765
RN01-REG-BIT–SAT93717	06:21:55	Fixed,Iono Free	2,384	17	13	0,017	0,007	0,015	24.245,572
M1812F-01–M1812L-02	05:08:46	Fixed	2,264	17	11	0,007	0,003	0,006	6.981,242
M1812F-01–RN01-REG-BJD	05:15:16	Fixed	2,240	17	11	0,006	0,002	0,005	6.563,394
M1812F-01–RN01-REG-BIT	06:21:55	Fixed	2,331	17	13	0,001	0,001	0,001	335,254
M1812F-01–SAT93717	06:42:00	Fixed,Iono Free	2,341	17	13	0,017	0,007	0,015	24.578,175
M1812L-02–RN01-REG-BJD	05:00:05	Fixed	2,246	17	12	0,001	0,000	0,001	430,506

Quadro 3 - Memória de Cálculo – GNSS – Apoio Básico Planimétrico de 2ª Ordem – Resultado Final

Name	Latitude	Longitude	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Ell.Height (m)	Std Dev n (m)	Std Dev e (m)	Std Dev u (m)	Control
M1812F-01	8°18'38,02394"S	36°25'28,71465"W	9.080.446,800	783.675,497	639,270	0,003	0,003	0,012	None
M1812L-02	8°20'50,82036"S	36°22'23,59960"W	9.076.327,367	789.316,165	601,622	0,003	0,003	0,012	None
RN01-REG-BJD	8°20'40,20862"S	36°22'32,78601"W	9.076.655,448	789.037,090	597,692	0,003	0,003	0,012	None
RN01-REG-BIT	8°18'39,81401"S	36°25'39,52127"W	9.080.393,924	783.344,273	640,100	0,003	0,003	0,012	None
SAT93212	8°16'30,36923"S	35°57'18,89567"W	9.084.005,189	835.452,732	579,855	0,002	0,002	0,017	Both
SAT93717	8°22'26,41209"S	36°38'18,48264"W	9.073.574,256	760.067,286	699,043	0,002	0,002	0,011	Both

Observando os resultados presentes nos Quadro 2 e Quadro 3 é notável que os valores referentes ao PDOP, ao número de satélites das constelações GPS e GLONASS, aos desvios padrões, as distâncias das linhas de base e o tipo de solução atingiram os requisitos solicitados pela Contratante, conforme detalhado nos parágrafos seguintes.

Os valores de PDOP ficaram todos abaixo de 2,4, cujo valor corresponde a menos da metade do exigido nas Especificações Técnicas (menor do que 5). O quantitativo de satélites se mostrou sempre igual ou superior a 13 (treze) em relação a constelação GPS e 11 (onze) da constelação GLONASS, totalizando no mínimo 24 (vinte e quatro) satélites naquele período, correspondendo a 4 (quatro) vezes a exigência especificada em Edital, que era de um número mínimo de 6 (seis) satélites para cada período de observação.

As distâncias das linhas de base foram todas inferiores a 50 quilômetros para a Rede de Apoio Geodésico Planialtimétrico de 2º Ordem, com um tempo de observação sempre superior a 4 (quatro) horas.

Além disso, observando o tipo de solução obtida nota-se que todos os vetores tiveram a solução com ambiguidades resolvidas, apresentando: 10 (dez) soluções do tipo Fixa (Fixed), apenas 2 (duas) solução do tipo Fixa-Banda Larga (Fixed, Wide Lane) e 5 (cinco) soluções do tipo Fixa – Livre de Ionosfera (Fixed, Iono Free).

As soluções do tipo Fixed são aquelas que usam as medidas de fase das portadoras L1 e L2 com ambiguidades resolvidas normalmente utilizadas para linhas de base maiores que 20 km. As soluções do tipo Fixed-Wide Lane são aquelas que utilizam a combinação linear  $L4 = L1 - L2$  que são úteis na determinação das ambiguidades porque tem um comprimento de onda maior, o que torna mais fácil a fixação das ambiguidades, no entanto pode ter associado um ruído elevado e normalmente utilizadas para linhas de base de grande comprimento. As soluções do tipo Fixed-Iono Free, aquelas que utilizam a combinação ionosférica  $L3 = \alpha L1 + \beta L2$ , que é a melhor solução obtida na maioria dos casos em que as linhas de base são maiores que 20 km pois é uma solução livre de interferências ionosféricas.



## 7.4. NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

### 7.4.1. Metodologia

A metodologia aplicada para a obtenção das cotas ortométricas dos marcos implantados para as Redes de Apoio Básico Planialtimétrico de 2º Ordem e de Apoio Básico Altimétrico de 2º Ordem foi o nivelamento geométrico composto de precisão, que consiste em uma operação que visa a determinação do desnível entre dois pontos a partir da leitura em miras verticais com código de barras através de um nível eletrônico/digital. As visadas são realizadas sucessivamente até se alcançar o ponto desejado, cuja cota ou altitude se deseja determinar.

Para a determinação dos desníveis com precisão foi empregado o método de visadas recíprocas com distâncias equivalentes. Nele, as duas miras são colocadas equidistantes do nível sobre os pontos que se deseja determinar o desnível, sendo então efetuadas as leituras. Trata-se de um processo em que o desnível é determinado pela diferença entre uma leitura de ré e uma de vante, minimizando o efeito do erro de colimação do equipamento topográfico.

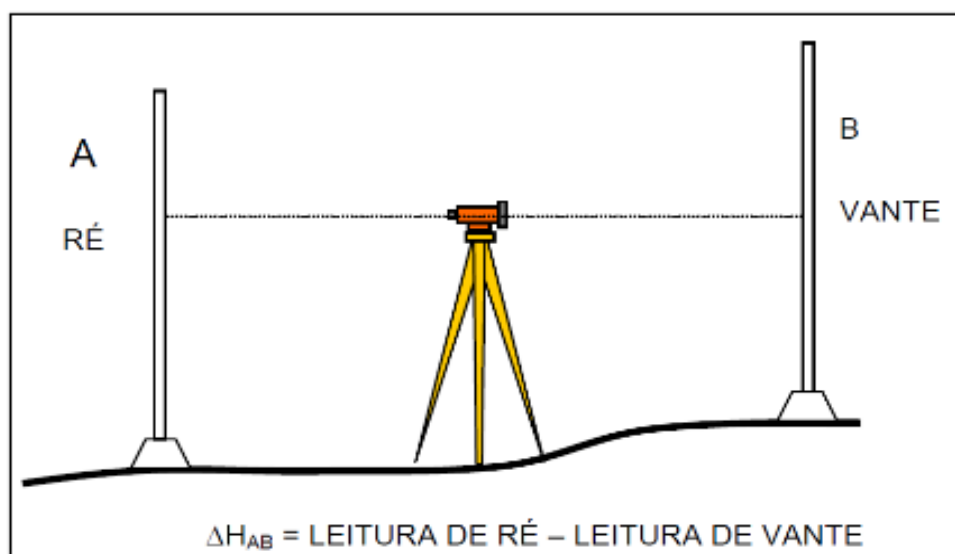


Figura 4 - Nivelamento Geométrico pelo Método das Visadas Equidistantes

Os trabalhos foram realizados utilizando níveis eletrônicos da Leica Geosystems, modelo SPRINTER 250M, com precisão nominal de 0,7 mm/km com miras em fibra de vidro.





Diariamente, no início dos trabalhos, foram realizados os procedimentos de colimação (aferição com correção de erros) dos níveis digitais, conforme descrição abaixo:

- a) Colocam-se 2 (duas) miras distanciadas de 40 metros entre si em um local plano;
- b) Coloca-se o nível entre as 2 (duas) miras no seu alinhamento;
- c) Mede-se o desnível entre as 2 (duas) miras;
- d) Muda-se o nível para próximo (2 metros) de uma das miras;
- e) Mede-se novamente o desnível entre as miras;
- f) Obtida a diferença entre as medições, se houver, o equipamento automaticamente calcula o erro e procede ao ajuste de colimação; e
- g) Refaz-se o procedimento para confirmar a correção que deve limitar o erro em 0,5 mm.

Posteriormente, os dados coletados em campo são transmitidos a um computador portátil, onde se faz uma análise prévia das precisões obtidas observando as diferenças entre o nivelamento e contranivelamento e a distância média percorrida.

Foram observados critérios básicos para obtenção da precisão requerida, conforme indicado no Termo de Referência, na Resolução da Presidência do IBGE nº 22 de 21/07/83 e na NBR 13.133, tais como:

- a) Caminhamento realizado de forma dupla (nivelamento e contranivelamento), na qual a diferença dos resultados de ambos não pode ser superior a  $3\text{mm}\sqrt{K}$  (onde K corresponde à distância nivelada média dada em quilômetros);
- b) Realizar visadas iguais e inferiores a 60m, com erro na equidistância de ré e de vante inferior a 5% do comprimento total do lance;
- c) Realizar leituras com miras verticalizadas sobre as RRNN ou sobre os pontos de passagem, sendo empregado para tal um nível de cantoneira;
- d) Realizar leituras acima de 0,50m do solo, evitando turbulências causadas pela reverberação;
- e) Realizar leituras abaixo de 3,5m na mira para evitar a falta de verticalidade da mesma decorrente do efeito do vando;
- f) Utilizar sempre miras aos pares e alternando-as entre ré e vante, eliminando o erro de índice entre réguas;
- g) Apoiar sempre as miras sobre sapatas ou pinos; e



- h) Utilizar ponto de segurança (PS) a aproximadamente 1km ou, em situações desfavoráveis, diminuir esse espaçamento.

Para o pós-processamento e ajustes dos dados obtidos pelo nível SPRINTER 250M foram utilizados os softwares Sprinter DataLoader e Microsoft Excel.

#### 7.4.2. Linhas de Nivelamento Geométrico e Análise dos Resultados

---

Conforme item 8.35 das Especificações Técnicas do Edital, na configuração original é previsto a execução de 2 (duas) linhas principais de nivelamento geométrico, são elas:

Linha 01 - 8.35.1. Criar uma nova linha de nivelamento geométrico, partindo-se das RRNN 1812H, 1812J ou outra pertencente à linha 1812, monumentalizadas nas margens da rodovia BR-232, município de Belo Jardim (PE), seguindo-se por uma estrada vicinal, até o barramento do açude Belo Jardim, no qual deve-se materializar uma nova RN; e

Linha 02 - 8.35.2. Criar uma nova linha de nivelamento geométrico, partindo-se das RRNN 374U, 374T, 1812F, 1812G ou outra pertencente à linha 1812, monumentalizadas na área urbana do município de Belo Jardim (PE), seguindo-se por vias urbanas e em seguida por uma estrada vicinal, até o barramento do açude Engenheiro Severino Guerra, no qual deve-se materializar uma nova RN.

Porém, devido à necessidade de se efetuar a amarração altimétrica das réguas linimétricas a serem empenhadas no apoio à batimetria, essa configuração inicial teve que ser alterada, sendo executadas 2 (duas) linhas principais e outras 3 (três) linhas secundárias, ambas descritas no Quadro 4.



Quadro 4 - Linhas de Nivelamento Geométrico <sup>3</sup>

Linha	Descrição	Edital
<b>Linha 01</b>	Com 3,449 km de extensão parte-se do RN1812F até o RN01-REG-BIT do posto de réguas do barramento do açude Bituri.	8.35.1
<b>Linha 01-A</b>	Com 0,100 km de extensão parte-se do RN01-REG-BIT do posto de réguas do açude Bituri até a régua 88 do referido posto.	-
<b>Linha 02</b>	Com 4,178 km de extensão parte-se do RN1812L até o RN01-REG-BJD do posto de réguas do barramento do açude Belo Jardim.	8.35.2
<b>Linha 02-A</b>	Com 0,136 km de extensão parte-se do RN03-REG-BJD do posto de réguas do açude Belo Jardim até a régua 582 do referido posto.	-
<b>Linha 02-B</b>	Com 0,729 km de extensão parte-se do RN03-REG-BJD até o marco M1812L-02.	-

A seguir apresenta-se o memorial de cálculo das linhas principais e secundárias. Para as linhas abertas não é realizada a análise do erro de fechamento, sendo executado apenas a consistência entre os procedimentos de nivelamento e contranivelamento.

#### Linha 01 – Parte-se do RN1812F até o RN01-REG-BIT do Posto de Réguas do Barramento do açude Bituri

No Quadro 5 apresenta-se a memória de cálculo do nivelamento geométrico da Linha 01.

---

<sup>3</sup> As linhas marcadas na coluna “Edital” com um traço não eram previstas e foram executadas com intuito de complementar os serviços, visando a amarração altimétrica de todas as réguas de monitoramento do nível d’água.



Quadro 5 - Memória de Cálculo - Linha 01 - Parte-se do RN1812F até o RN01-REG-BJD do Posto de Régua do Barramento do Açude Bituri

De	Para	Diferença de Nível Nivelamento (m)	Diferença de Nível Contra niv. (m)	Diferença (m)	Ponto	Cota Média (m)	Cota (m)		Distância (m)		
							Nivelamento	Contranivelamento	Nivelamento	Contra niv.	Diferença
					<b>RN1812F</b>	<b>626,3939</b>					
RN1812F	AUX-RN1812F	-0,0949	-0,0949	<b>-0,0001</b>	<b>AUX-RN1812F</b>	<b>626,2990</b>	<b>626,2990</b>	<b>626,2990</b>	55,918	54,760	1,1575
AUX-RN1812F	PS1-BIT	-9,9789	-9,9795	<b>0,0006</b>	<b>PS1-BIT</b>	<b>616,3198</b>	<b>616,3201</b>	<b>616,3195</b>	1145,047	1139,377	5,6703
PS1-BIT	PS2-BIT	11,9568	11,9575	<b>-0,0007</b>	<b>PS2-BIT</b>	<b>628,2770</b>	<b>628,2766</b>	<b>628,2773</b>	1062,938	1063,231	-0,2925
PS2-BIT	RNAUX	18,0403	18,0405	<b>-0,0002</b>	<b>RNAUX</b>	<b>646,3173</b>	<b>646,3172</b>	<b>646,3175</b>	819,818	817,939	1,8783
RNAUX	RN1-REG-BIT	-0,6750	-0,6751	<b>0,0001</b>	<b>RN1-REG-BIT</b>	<b>645,6423</b>	<b>645,6424</b>	<b>645,6423</b>	14,869	14,497	0,3718
RN1-REG-BIT	RN2-REG-BIT	0,6777	0,6777	<b>0,0000</b>	<b>RN2-REG-BIT</b>	<b>646,3200</b>	<b>646,3201</b>	<b>646,3200</b>	18,617	18,520	0,0966
RN2-REG-BIT	M1812F-01	-1,5083	-1,5083	<b>0,0000</b>	<b>M1812F-01</b>	<b>644,8117</b>	<b>644,8117</b>	<b>644,8117</b>	337,791	335,668	2,1235
Erro absoluto (m)				<b>-0,0003</b>					<b>3455,00</b>	<b>3443,99</b>	11,01
Erro absoluto aceito (m)				<b>0,0056</b>	<b>Tolerância</b>	<b>3,0000</b>	mm/Km	Formula: (√Km_Nivelado)*Tolerância			

Linha 01-A - Parte-se do RN01-REG-BIT do Posto de Régua do Barramento do açude Belo Jardim até a Régua 88 do referido Posto

No Quadro 6 apresenta-se a memória de cálculo do nivelamento geométrico da Linha 01-A.

Quadro 6 - Memória de Cálculo - Linha 01-A - Parte-se do RN01-REG-BIT do Posto de Régua do Barramento do Açude Bituri até a Régua 88 do Referido Posto

De	Para	Diferença de Nível Nivelamento (m)	Diferença de Nível Contra niv. (m)	Diferença (m)	Ponto	Cota Média (m)	Cota (m)		Distância (m)		
							Nivelamento	Contranivelamento	Nivelamento	Contra niv.	Diferença
					<b>RN1-REG-BIT</b>	<b>645,6423</b>					
RN1-REG-BIT	RNAUX	-0,6750	-0,6751	<b>0,0001</b>	<b>RNAUX</b>	<b>644,9673</b>	<b>644,9673</b>	<b>644,9673</b>	14,869	14,497	0,3718
RNAUX	NA	-10,5095	-10,5087	<b>-0,0008</b>	<b>NA</b>	<b>634,4582</b>	<b>634,4578</b>	<b>634,4586</b>	75,746	77,630	-1,8842
NA	RG88	0,9397	0,9398	<b>-0,0001</b>	<b>RG88</b>	<b>635,3980</b>	<b>635,3979</b>	<b>635,3980</b>	8,168	9,137	-0,9690
Erro absoluto (m)				<b>-0,0008</b>					<b>98,78</b>	<b>101,26</b>	-2,48

Linha 02 - Parte-se do RN1812L até o RN01-REG-BJD do posto de régua do barramento do açude Belo Jardim

No Quadro 7 apresenta-se a memória de cálculo do nivelamento geométrico da Linha 02.

Quadro 7 - Memória de Cálculo - Linha 02 - Parte-se do RN1812L até o RN01-REG-BJD do Posto de Régua do Barramento do Açude Belo Jardim

De	Para	Diferença de Nível Nivelamento (m)	Diferença de Nível Contra niv. (m)	Diferença (m)	Ponto	Cota Média (m)	Cota (m)		Distância (m)		
							Nivelamento	Contranivelamento	Nivelamento	Contra niv.	Diferença
					<b>RN1812L</b>	<b>635,3691</b>					
RN1812L	PS01 - BJD	3,8805	3,8792	<b>0,0012</b>	<b>PS01 - BJD</b>	<b>639,2489</b>	<b>639,2496</b>	<b>639,2483</b>	1019,908	1019,387	0,5209
PS01 - BJD	M1812L-01	-52,0908	-52,0905	<b>-0,0003</b>	<b>M1812L-01</b>	<b>587,1583</b>	<b>587,1581</b>	<b>587,1584</b>	1378,896	1385,110	-6,2138
M1812L-01	PS02 -BJD	23,5049	23,5044	<b>0,0004</b>	<b>PS02 -BJD</b>	<b>610,6629</b>	<b>610,6631</b>	<b>610,6627</b>	1068,200	1063,001	5,1992
PS02 -BJD	RN3-REG-BJD	-7,5996	-7,6005	<b>0,0009</b>	<b>RN3-REG-BJD</b>	<b>603,0629</b>	<b>603,0633</b>	<b>603,0624</b>	703,753	705,616	-1,8626
RN3-REG-BJD	RN1-REG-BJD	0,1840	0,1840	<b>0,0000</b>	<b>RN1-REG-BJD</b>	<b>603,2469</b>	<b>603,2469</b>	<b>603,2469</b>	5,810	6,601	-0,7912
Erro absoluto (m)				<b>0,0023</b>					<b>4176,57</b>	<b>4179,71</b>	-3,15
Erro absoluto aceito (m)				<b>0,0061</b>	<b>Tolerância</b>	<b>3,0000</b>	mm/Km	Formula: (√Km_Nivelado)*Tolerância			

Linha 02-A - Parte-se do RN03-REG-BJD do Posto de Régua do Barramento do açude Belo Jardim até a Régua 582 do referido Posto

No Quadro 8 apresenta-se a memória de cálculo do nivelamento geométrico da Linha 02-A.

Quadro 8 - Memória de Cálculo - Linha 02-A - Parte-se do RN01-REG-BJD do Posto de Régua do Barramento do Açude Belo Jardim até a Régua 582 do Referido Posto

De	Para	Diferença de Nível Nivelamento (m)	Diferença de Nível Contra niv. (m)	Diferença (m)	Ponto	Cota Média (m)	Cota (m)		Distância (m)		
							Nivelamento	Contranivelamento	Nivelamento	Contra niv.	Diferença
					<b>RN3-REG-BJD</b>	<b>603,0629</b>					
RN3-REG-BJD	AUX1	-21,1933	-21,1934	<b>0,0000</b>	<b>AUX1</b>	<b>581,8695</b>	<b>581,8695</b>	<b>581,8695</b>	125,794	125,563	0,2305
AUX1	REG582	-0,0630	-0,0629	<b>-0,0001</b>	<b>REG582</b>	<b>581,8066</b>	<b>581,8065</b>	<b>581,8066</b>	4,285	5,934	-1,6491
REG582	NA	-0,2239	-0,2240	<b>0,0000</b>	<b>NA</b>	<b>581,5826</b>	<b>581,5826</b>	<b>581,5826</b>	5,082	6,295	-1,2132
Erro absoluto (m)				<b>0,0000</b>					<b>135,16</b>	<b>137,79</b>	-2,63
Erro absoluto aceito (m)				<b>0,0011</b>	<b>Tolerância</b>	<b>3,0000</b>	mm/Km	Formula: (√Km_Nivelado)*Tolerância			

Linha 02-B - Parte-se do RN03-REG-BJD até o marco M1812L-02

No Quadro 9 apresenta-se a memória de cálculo do nivelamento geométrico da Linha 02-B.

Quadro 9 - Memória de Cálculo - Linha 02-B - Parte-se do RN03-REG-BIT até o Marco M1812L-02

De	Para	Diferença de Nível Nivelamento (m)	Diferença de Nível Contra niv. (m)	Diferença (m)	Ponto	Cota Média (m)	Cota (m)		Distância (m)		
							Nivelamento	Contranivelamento	Nivelamento	Contra niv.	Diferença
					<i>RN3-REG-BJD</i>	<i>603,0629</i>					
RN3-REG-BJD	M1812L-02	4,1121	4,1110	<b>0,0011</b>	<b>M1812L-02</b>	<b>607,1744</b>	<b>607,1750</b>	<b>607,1739</b>	729,824	728,436	1,3877
Erro absoluto (m)				<b>0,0011</b>					<b>729,82</b>	<b>728,44</b>	1,39
Erro absoluto aceito (m)				<b>0,0026</b>	<b>Tolerância</b>	<b>3,0000</b>	mm/Km	Formula: ( $\sqrt{\text{Km\_Nivelado}}$ )*Tolerância			

Assim, conforme apresentado nos memoriais de cálculo do nivelamento geométrico neste item, e considerando as Especificações Técnicas fornecida pela ANA, todos os erros absolutos de fechamento das linhas de nivelamento geométrico ficaram abaixo dos preconizados. Além disso, nos trechos individualizados, materializados pelos pontos de segurança (PS), as diferenças entre o nivelamento e o contranivelamento, também ficaram abaixo do erro permitido, atingindo assim a precisão especificada pela Contratante.

#### 7.4.3. Correlação de Cotas – Sistema Geodésico Brasileiro X Cota Referencial Local

Para efeito de registro deve-se destacar que há uma diferença de 548,743m entre as elevações determinadas para ao Apoios Básico Planialtimétrico de 2º Ordem e a Referência de Nível Local, que materializa a origem altimétrica da seção de régua linimétrica presente no barramento do açude Bituri.

O marco RN01-REG-BIT do posto de régua do barramento do açude possui cota igual a 96,899 m, conforme cota gravada no próprio marco (Figura 5). Enquanto, com os nivelamentos geométricos executados no âmbito deste projeto determinou-se que a cota ortométrica desse marco, no Sistema Geodésico Brasileiro, é igual a 645,642 m, conforme apresentado no Quadro 10.



Figura 5 - Referência de Nível do Posto de Régua do Barramento do Açude Bituri





Quadro 10 - Diferença Altimétrica na Seção de Réguas Linimétricas do Barramento do Açude Bituri

Cota (m) - Sistema Geodésico Brasileiro	Cota (m) - Referência Local	Diferença (m)
645,642	96,899	548,743

Para efeito de registro deve-se destacar que há uma diferença de 0,202m entre as elevações determinadas para ao Apoios Básico Planialtimétrico de 2º Ordem e a Referência de Nível Local, que materializa a origem altimétrica da seção de réguas linimétricas presente no barramento do açude Belo Jardim.

O marco RN01-REG-BJD do posto de réguas do barramento do açude possui cota igual a 603,449 m, conforme cota gravada no próprio marco (Figura 6). Enquanto, com os nivelamentos geométricos executados no âmbito deste projeto determinou-se que a cota ortométrica desse marco, no Sistema Geodésico Brasileiro, é igual a 603,247 m, conforme apresentado no Quadro 11.



Figura 6 - Referência de Nível do Posto de Réguas do Barramento do Açude Belo Jardim

Quadro 11 - Diferença Altimétrica na Seção de Réguas Linimétricas do Barramento do Açude Belo Jardim

Cota (m) - Sistema Geodésico Brasileiro	Cota (m) - Referência Local	Diferença (m)
603,247	603,449	0,202





## 8. MODELO GEOIDAL LOCAL

---

Para atender o preconizado no item 8.35 das Especificações Técnicas do Edital, a Ondulação Geoidal dos Açudes Bituri e Belo Jardim foi determinada a partir de 2 (dois) ponto da Referência de Nível (RRNN) materializado sobre seu barramento, pertencente ao Apoio Básico Planialtimétrico de 2º Ordem, apresentada no Quadro 12 abaixo. Esse ponto possui a altitude elipsoidal determinada a partir do rastreo GNSS e a altitude ortométrica obtidas por meio de nivelamentos geométricos a partir do Apoio Básico Altimétrico de 1º Ordem.

O cálculo da Ondulação Geoidal (N) foi realizado a partir da diferença entre as altitudes elipsoidais (h) e ortométricas (H), onde  $N = (h - H)$ .



Quadro 12 - Levantamento Planialtimétrico – Modelo Geoidal Local do Açude Bituri e Belo Jardim

Name	Latitude	Longitude	Grid Northing (m) <sup>4</sup>	Grid Easting (m)	Ell.Height (m)	Ortho. Height(m)	Geo.Undulation (m)	Std Dev n (m)	Std Dev e (m)	Std Dev u (m)
RN01-REG-BJD	8°20'40,20862"S	36°22'32,78601"W	9076655,448	789037,090	597,692	603,247	-5,555	0,003	0,003	0,012
RN01-REG-BIT	8°18'39,81401"S	36°25'39,52127"W	9080393,924	783344,273	640,100	645,642	-5,542	0,003	0,003	0,012

<sup>4</sup> Fuso 24S - UTM

## 9. REDE DE APOIO SUPLEMENTAR

### 9.1. QUANTITATIVOS

A seguir, no Quadro 13 são listados os quantitativos de todos os produtos e insumos gerados durante os levantamentos topográficos e geodésicos executados nas atividades de Apoio Suplementar e Pontos de Controle, para os açudes Bituri e Belo Jardim, cujas coordenadas planialtimétricas são obtidas a partir de pontos do Apoio Geodésico Planimétrico de 1º ou 2º Ordem, bem como com dados provenientes da Ondulação Geoidal elaborado nesta contratação.

Quadro 13 - Quantitativos dos Serviços Executados no Apoio Suplementar

RESUMO DOS QUANTITATIVOS DOS SERVIÇOS TOPOGRÁFICOS E GEODÉSICOS REALIZADOS NA REGIÃO DOS AÇUDES BITURI E BELO JARDIM- APOIO SUPLEMENTAR			
Descrição	Un.	Quantidade	
Posicionamento GNSS - Apoio Suplementar e Pontos de Controle Açude Bituri	Un.	05 - HV	30 min
	Un.	04 - PC	30 min
Posicionamento GNSS - Apoio Suplementar e Pontos de Controle Belo Jardim	Un.	10 - HV	30 min
	Un.	05 - PC	30 min
Elaboração de Monografias	Un.	24	

### 9.2. POSICIONAMENTO GNSS

#### 9.2.1. Metodologia

O Apoio Suplementar constitui na determinação de coordenadas planialtimétricas, no sistema UTM e/ou geográficas, de pontos necessários às operações aerofotogramétricas.

Tendo em vista a execução da aerotriangulação e para densificação do controle fotogramétrico, foi realizado um planejamento da distribuição dos pontos do Apoio Suplementar em função do bloco de fotografias e da extensão das faixas. Em função da configuração espacial do recobrimento aerofotogramétrico optou-se por



empregar pontos de duplo apoio (HV - Horizontal e Vertical), distribuídos em todas as faixas de voo.

Os locais escolhidos para os pontos do apoio suplementar é um fator importante para a qualidade dos produtos a serem entregues. Para isso os trabalhos da equipe de campo seguiram algumas regras básicas:

- a) Os pontos devem sempre ser visíveis nas imagens, ou seja, devem ter em campo o mesmo objeto correspondente na imagem; e
- b) O ponto a ser coletado não deverá estar próximo a nenhuma obstrução ao sinal GNSS (árvores, edificações, muros, postes, etc.).

Os Pontos de Controle foram levantados simultaneamente aos pontos do Apoio Suplementar e seus locais foram distribuídos dentro da área do açude e servirão para atestar a qualidade técnica dos produtos finais gerados. As coordenadas dos Pontos de Controle serão comparadas *a posteriori* com os valores do cálculo da aerotriangulação, para verificar se os produtos finais atendem as preconizações de qualidade previstas em Edital, que no caso são: Classe A do Padrão de Exatidão Cartográfica Digital da INDE para a escala 1:5.000.

O direcionamento das equipes de campo foi realizado com base nas coordenadas geográficas aproximadas dos pontos para que possam identificar com um GPS de navegação no terreno à posição e o local correto da realização da coleta dos pontos com os receptores GNSS geodésicos de dupla frequência.

Para o levantamento dos pontos do Apoio Suplementar e dos Pontos de Controle a equipe de campo utilizou os marcos do Apoio Básico Geodésico Planialtimétrico de 2ª ordem: RN01-REG-BIT e RN01-REG-BJD.

O equipamento usado para a coleta destes pontos foi o receptor de dupla frequência L1/L2 Novatel V3, Topcon Hiper +, Triumph-1(Javad), taxa de coleta de 5 segundos e máscara de elevação de 15°. O tempo de rastreamento para os pontos do Apoio Suplementar e dos Pontos de Controle foi de 30 minutos.

Do quantitativo de pontos mencionados no Quadro 14, referentes ao Apoio Suplementar e Pontos de Controle dos Bituri e Belo Jardim.

- a) Quanto a duração, 100% dos pontos com duração 30 minutos;
- b) Quanto a solução fixa, 100% dos pontos alcançaram a solução fixa;
- c) Quanto ao PDOP, 100% dos pontos estão com PDOP inferior a 3;



- d) Quanto a quantidade de satélite, 100% dos pontos foram rastreados com quantitativo acima de 10 satélites;
- e) Quanto ao RMS, 100% dos pontos atingiram precisão melhor que 3 centímetros;
- f) Quanto a distância da base, 100% dos pontos estão com a linha de base inferior a 25 Km.

Com base no exposto, concluímos que os resultados dos pontos do Apoio Suplementar e Pontos de Controle foram excelentes e atendem os requisitos referentes aos produtos finais exigidos no Edital.

O processamento e ajustamento dos dados GNSS referentes aos pontos do Apoio Suplementar e dos Pontos de Controle foram realizados no Topcon Tools 7.5.2 da Topcon, por linhas de base simples, sendo que as coordenadas planimétricas dos pontos foram referenciadas ao Datum Planimétrico SIRGAS 2000 e projetados para UTM (Universal Transversa de Mercator) no Fuso 24, Meridiano Central 39°S, e as coordenadas altimétricas foram referenciadas ao Datum Altimétrico definido através do Marégrafo de Imbituba-SC, sendo que a redução das altitudes geométricas dos pontos para altitudes ortométricas foram calculadas com base no Modelo Geoidal Local elaborado para essa contratação.

#### 9.2.2. Processamento e Análise dos Resultados

A seguir, são apresentadas para os pontos do Apoio Suplementar e para os Pontos de Controle, as planilhas de processamento dos dados, onde pode-se ver as coordenadas finais e respectivos desvios padrão de cada um daqueles pontos, e as planilhas das observações e dos vetores formados, onde pode-se ver, entre outros elementos, o tempo de observação, bem como os resultados do ajustamento de cada vetor.



Quadro 14 - Memória de Cálculo – GNSS – Apoio Básico Suplementar e Pontos de Controle – Vetores

Name	Duration	Solution Type	Antenna Type	Antenna Height Slant (m) - Control <sup>5</sup>	Antenna Type	Antenna Height Vertical (m) - Rover <sup>6</sup>	PDOP	GPS Satellites	RMS	North RMS(m)	East RMS(m)	Distance (m)
HV_AcudeBituri_001– RN01-REG-BIT	0:30	Fixed	NOV702GG NONE	2,43	NOV702GG NONE	3,00	2,483	12	0,002	0,001	0,001	2036,552
HV_AcudeBituri_002– RN01-REG-BIT	0:30	Fixed	NOV702GG NONE	2,43	NOV702GG NONE	3,00	2,453	14	0,007	0,002	0,002	2718,154
HV_AcudeBituri_003– RN01-REG-BIT	0:31	Fixed	NOV702GG NONE	2,43	NOV702GG NONE	3,00	1,784	11	0,003	0,001	0,001	3170,473
HV_AcudeBituri_004– RN01-REG-BIT	0:30	Fixed	NOV702GG NONE	2,43	NOV702GG NONE	3,00	2,202	14	0,004	0,001	0,001	3887,631
HV_AcudeBituri_005– RN01-REG-BIT	0:31	Fixed	NOV702GG NONE	2,43	NOV702GG NONE	3,50	2,359	12	0,002	0,001	0,001	1267,572
PC_AcudeBituri_001– RN01-REG-BIT	0:32	Fixed	NOV702GG NONE	2,43	NOV702GG NONE	3,00	2,475	14	0,003	0,001	0,001	2219,440
PC_AcudeBituri_002– RN01-REG-BIT	0:31	Fixed	NOV702GG NONE	2,43	NOV702GG NONE	3,50	1,680	11	0,002	0,001	0,001	1078,719
HV_AcudeBeloJardim_001– RN1-REG-BJD	0:33	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	3,38	2,402	12	0,008	0,003	0,002	8532,003
HV_AcudeBeloJardim_002– RN1-REG-BJD	0:33	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	2,58	2,067	13	0,007	0,002	0,002	8280,851
HV_AcudeBeloJardim_003– RN1-REG-BJD	0:30	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	3,00	2,154	12	0,002	0,001	0,001	1194,085
HV_AcudeBeloJardim_004– RN1-REG-BJD	0:31	Fixed	NOV702GG NONE	1,91	NOV702GG NONE	3,00	2,639	13	0,004	0,001	0,001	1592,311
HV_AcudeBeloJardim_005– RN1-REG-BJD	0:32	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	2,36	1,723	12	0,004	0,001	0,002	3221,501
HV_AcudeBeloJardim_006– RN1-REG-BJD	0:30	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	3,00	2,057	14	0,003	0,001	0,001	3699,670
HV_AcudeBeloJardim_007– RN1-REG-BJD	0:32	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	2,87	2,218	12	0,005	0,002	0,002	6389,843
HV_AcudeBeloJardim_008– RN1-REG-BJD	0:35	Fixed	NOV702GG NONE	1,91	NOV702GG NONE	3,00	3,028	13	0,003	0,001	0,001	2270,368
HV_AcudeBeloJardim_009– RN1-REG-BJD	0:31	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	3,00	2,366	14	0,002	0,001	0,000	584,084
HV_AcudeBeloJardim_010– RN1-REG-BJD	0:32	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	2,06	2,392	12	0,004	0,001	0,001	4208,030
PC_AcudeBeloJardim_001– RN1-REG-BJD	0:30	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	3,00	1,651	12	0,001	0,000	0,001	423,702
PC_AcudeBeloJardim_002– RN1-REG-BJD	0:32	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	2,40	2,336	12	0,007	0,002	0,001	7301,865
PC_AcudeBeloJardim_003– RN1-REG-BJD	0:31	Fixed	NOV702GG NONE	1,94	NOV702GG NONE	2,94	2,281	10	0,002	0,001	0,001	2234,234
PC_AcudeBituri_003–RN01-REG-BIT	5:15	Fixed	HiPer+	2,00	JAV_TRIUMPH-1 NONE	2,00	2,276	17	0,006	0,003	0,006	6807,222
PC_AcudeBituri_004–RN01-REG-BIT	5:15	Fixed	HiPer+	2,00	JAV_TRIUMPH-1 NONE	2,00	2,240	17	0,006	0,002	0,005	6563,394
PC_AcudeBeloJardim_004–RN01-REG-BJD	5:15	Fixed	HiPer+	2,00	JAV_TRIUMPH-1 NONE	2,00	2,276	17	0,006	0,003	0,006	6807,222
PC_AcudeBeloJardim_005–RN01-REG-BJD	5:08	Fixed	HiPer+	2,00	JAV_TRIUMPH-1 NONE	2,00	2,303	17	0,007	0,003	0,006	7221,349

<sup>5</sup> Representa a altura da Base com antena na posição inclinada, foi processado com o método inclinado.

<sup>6</sup> Representa a altura do Rover com antena na posição vertical, foi processada com o método vertical.

Quadro 15 - Memória de Cálculo – GNSS – Apoio Básico Suplementar e Pontos de Controle – Vetores

Name	Latitude	Longitude	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Ell. Height (m)	Ortho. Height(m)	Geo. Undulation (m)	Std Dev n (m)	Std Dev e (m)	Std Dev u (m) <sup>7</sup>
HV_AcudeBituri_001	8°18'50,83470"S	36°24'33,90371"W	9080042,060	785351,083	664,271	669,826	-5,542	0,003	0,003	0,012
HV_AcudeBituri_002	8°17'52,12019"S	36°24'24,71491"W	9081845,079	785644,227	650,882	656,437	-5,542	0,004	0,004	0,014
HV_AcudeBituri_003	8°18'13,53049"S	36°27'19,70354"W	9081221,650	780282,212	655,456	661,011	-5,542	0,003	0,003	0,012
HV_AcudeBituri_004	8°17'18,64890"S	36°27'16,73271"W	9082908,043	780383,991	849,072	854,627	-5,542	0,003	0,003	0,013
HV_AcudeBituri_005	8°18'00,87154"S	36°25'53,19608"W	9081593,694	782933,349	643,362	648,917	-5,542	0,003	0,003	0,012
PC_AcudeBituri_001	8°17'46,53962"S	36°26'28,48886"W	9082041,225	781855,609	671,325	676,880	-5,542	0,003	0,003	0,012
PC_AcudeBituri_002	8°18'18,08924"S	36°25'11,83222"W	9081056,214	784196,379	648,665	654,220	-5,542	0,001	0,001	0,002
PC_AcudeBituri_003	8°18'39,81401"S	36°25'39,52127"W	9080393,924	783344,273	640,100	645,655	-5,542	0,003	0,003	0,012
PC_AcudeBituri_004	8°18'38,02394"S	36°25'28,71465"W	9080446,800	783675,497	639,270	644,825	-5,542	0,003	0,003	0,012
HV_AcudeBeloJardim_001	8°23'22,65860"S	36°26'18,93070"W	9071707,409	782081,194	643,016	648,558	-5,555	0,004	0,004	0,014
HV_AcudeBeloJardim_002	8°23'54,55431"S	36°25'40,28515"W	9070719,223	783257,733	655,050	660,592	-5,555	0,003	0,004	0,014
HV_AcudeBeloJardim_003	8°20'37,38370"S	36°21'53,86906"W	9076734,346	790229,140	584,082	589,624	-5,555	0,003	0,003	0,012
HV_AcudeBeloJardim_004	8°19'57,89376"S	36°22'02,74836"W	9077950,104	789965,387	579,049	584,591	-5,555	0,001	0,001	0,003
HV_AcudeBeloJardim_005	8°21'27,08778"S	36°24'06,95756"W	9075233,475	786144,503	595,688	601,230	-5,555	0,003	0,004	0,013
HV_AcudeBeloJardim_006	8°20'57,32195"S	36°24'32,46417"W	9076153,608	785369,662	607,657	613,199	-5,555	0,003	0,003	0,012
HV_AcudeBeloJardim_007	8°21'56,65045"S	36°25'46,98175"W	9074344,832	783076,466	661,683	667,225	-5,555	0,003	0,003	0,013
HV_AcudeBeloJardim_008	8°20'07,56634"S	36°23'39,34927"W	9077672,376	787005,854	598,735	604,277	-5,555	0,003	0,003	0,012
HV_AcudeBeloJardim_009	8°20'32,58494"S	36°22'50,26530"W	9076893,358	788503,507	612,133	617,675	-5,555	0,001	0,000	0,002
HV_AcudeBeloJardim_010	8°22'32,59824"S	36°23'51,37456"W	9073216,542	786608,243	627,528	633,070	-5,555	0,003	0,003	0,013
PC_AcudeBeloJardim_001	8°20'53,33020"S	36°22'28,52619"W	9076251,217	789164,822	598,176	603,718	-5,555	0,003	0,003	0,012
PC_AcudeBeloJardim_002	8°23'29,78049"S	36°25'19,98112"W	9071476,671	783884,249	630,956	636,498	-5,555	0,003	0,003	0,014
PC_AcudeBeloJardim_003	8°21'18,02738"S	36°23'35,14975"W	9075505,558	787120,112	605,696	611,238	-5,555	0,003	0,003	0,012
PC_AcudeBeloJardim_004	8°20'40,20862"S	36°22'32,78601"W	9076655,448	789037,090	597,692	603,234	-5,555	0,003	0,003	0,012
PC_AcudeBeloJardim_005	8°20'50,82036"S	36°22'23,59960"W	9076327,367	789316,165	601,622	607,164	-5,555	0,003	0,003	0,012

<sup>7</sup> As bases utilizadas neste processamento foram: RN01-REG-BIT e RN01-REG-BJD.

Ao analisar os elementos presentes no Quadro 14 percebe-se que os valores referentes ao PDOP, ao número de satélites das constelações, aos desvios padrão, as distâncias das linhas de base e o tipo de solução atendem as preconizações técnicas previstas em Edital. De forma específica tem-se que:

- a) Os valores de PDOP ficaram todos abaixo de 3 (três), sendo que exigência especificada pelo Contratante era de valores inferiores a 5 (cinco);
- b) O quantitativo de satélites se mostrou sempre igual ou superior a 10 (dez), o que corresponde a exigência especificada em Edital, que era de um número mínimo de 6 satélites para cada período de observação;
- c) As distâncias das linhas de base foram variáveis, de acordo com a distância do marco base aos pontos do Apoio Suplementar e dos Pontos de Controle, onde 100% destes estão a uma distância inferior a 25 km;
- d) Para o tempo de observação, tivemos 100% dos pontos levantados de 30 minutos; e
- e) Todos os vetores tiveram a solução com ambiguidades resolvidas.

Após a análise dos dados foram geradas as monografias dos marcos das quatro classes de rede implantas: Rede de Apoio Básico Planimétrica de 2º Ordem, Rede de Apoio Básico Altimétrico de 2º Ordem, Rede de Apoio Suplementar e Pontos de Controle.





## 10. LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO

---

### 10.1. METODOLOGIA

---

Batimetria é um método acústico utilizado para mensurar profundidades de corpos hídricos. Para tanto, este método utiliza-se de propriedades relativas à propagação das ondas acústicas através da água e emprega equipamentos batimétricos que podem produzir repetidamente pulsos acústicos com alta precisão.

Os pulsos acústicos emitidos pelos equipamentos batimétricos são refletidos na superfície de fundo dos corpos hídricos e os seus retornos (ou ecos) são devidamente captados pelos sistemas de mensuração. O tempo percorrido entre a transmissão do pulso e o retorno do eco é aquele em que o som leva para se propagar da fonte emissora (transdutor) até o fundo do corpo hídrico e retornar para os hidrofones (receptores do sinal de retorno). Conhecendo este tempo e a velocidade que o som se propaga na água, é possível calcular as profundidades de corpos hídricos.

Quando um pulso de som encontra um outro meio físico, como uma rocha ou areia, uma fração de sua energia é transmitida para o material. A quantidade de energia transmitida depende da impedância do material (produto da densidade do material pela velocidade de som), do ângulo de incidência do pulso (entre o pulso e o meio físico de fundo) e da rugosidade da superfície desse material. A energia emitida que não é transmitida para o material de fundo é refletida para o meio original - a água. Essencialmente, essa reflexão ocorre em um ângulo que depende do ângulo de incidência do pulso originário. O restante da energia é espalhado (*scattered*) por todas as direções, conforme mostrado na Figura 7.



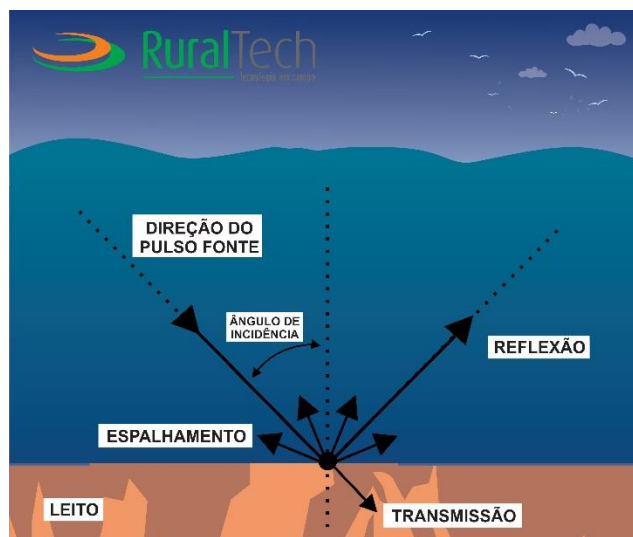


Figura 7 - Esquema ilustrando a incidência e reflexão da onda acústica no leito de um corpo aquático

#### 10.1.1. Levantamento Batimétrico Monofeixe

A função básica de um ecobatímetro é medir, de forma acurada, a distância entre o transdutor (emissor e receptor do pulso acústico) e o leito do corpo hídrico. Em um levantamento batimétrico, o foco principal é medir a distância para um ponto específico no fundo, idealmente um ponto diretamente abaixo ao barco que realiza aquisição.

As profundidades são determinadas, conhecendo-se a velocidade de propagação do som na água e a mensuração do tempo de retorno do primeiro eco refletido, e sob condições ideais, onde o fundo é plano (conforme mostrada na Figura 8), o eco representa um ponto localizado diretamente abaixo do transdutor, pois é lá que está a menor distância entre ele e o fundo.



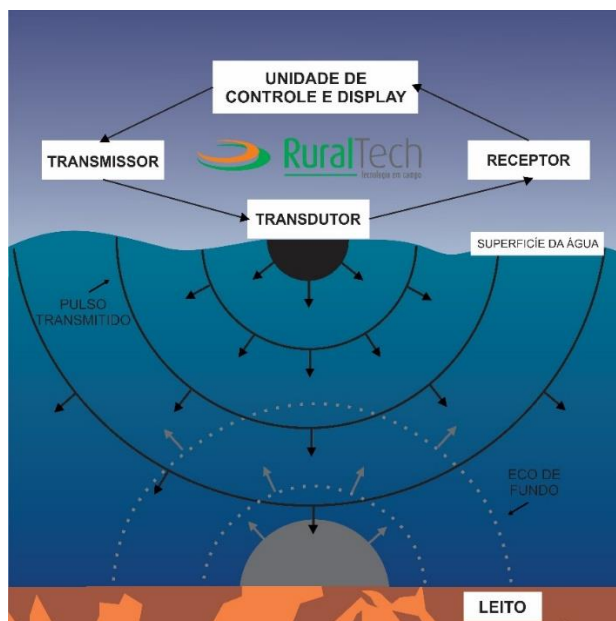


Figura 8 - Componentes de um ecobatímetro monofeixe

Entretanto, pode ocorrer do primeiro eco refletido não vir do ponto diretamente abaixo do transdutor, como exemplificado na Figura 9, onde se tem um fundo irregular e a feição de fundo na popa da embarcação é a de menor distância para o transdutor. Como não é possível saber de onde vem o primeiro eco, situações como esta produzirão medidas imprecisas das profundidades.

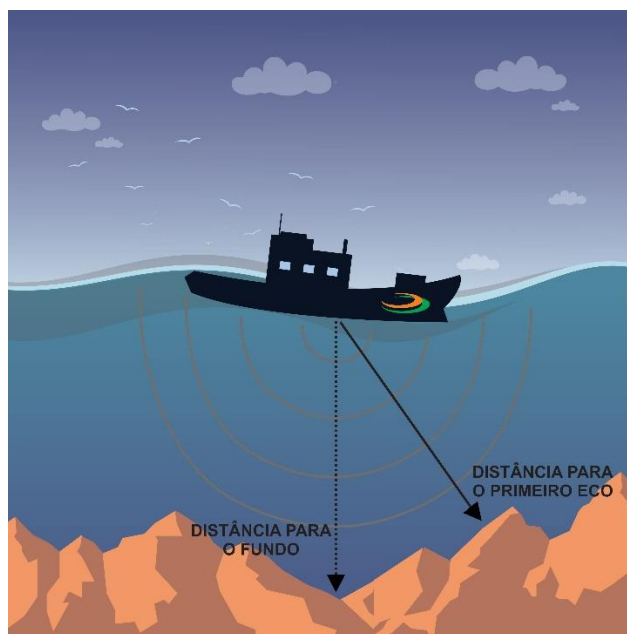


Figura 9 - Mapeamento de um leito irregular



A maneira de se evitar tais problemas é introduzir certo direcionamento aos pulsos, ou seja, produzi-los com ângulos estreitos (feixes), assim o primeiro eco virá exclusivamente da área que é imageada pelo pulso, conforme ilustrado na Figura 10. Um ecobatímetro monofeixe se encarrega justamente de dar este direcionamento aos pulsos. Portanto, a área imageada dependerá da abertura do feixe, e desta forma quanto menor a abertura for, menor será a área imageada e mais precisas serão as medições das profundidades.

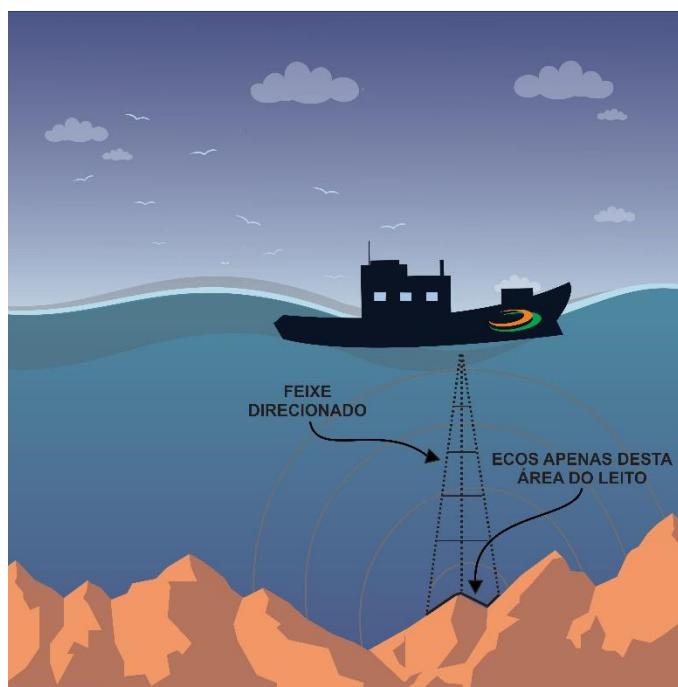


Figura 10 - Utilização de um feixe direcionado em um fundo irregular

Em um levantamento batimétrico monofeixe adota-se linhas de sondagem paralelas e perpendiculares à isóbatas e ao talvegue, garantindo desta forma o correto delineamento da feição do fundo do rio.

#### 10.1.2. Levantamento Batimétrico Multifeixe

Um ecobatímetro multifeixe é um instrumento que permite mapear uma grande quantidade de pontos do leito de um corpo hídrico com um único pulso (disparo) e com alta resolução. Este equipamento compõe-se de um ou mais transdutores fixados no casco da embarcação, afim de constituir múltiplas fontes de emissão de sinais acústicos com ângulos muito próximos, que são propagados para ambos os lados da rota de navegação.



Num levantamento batimétrico empregando-se equipamentos multifeixe uma área no fundo do corpo hídrico é mapeada continuamente, constituindo, geralmente, faixas de pontos na direção perpendicular à direção de deslocamento do barco (para ambos os lados). Tal procedimento é comumente chamado na literatura especializada por varredura (*swath*), sendo a sua dimensão dada como um ângulo fixo ou uma medida física que muda de acordo com a profundidade (Figura 11).

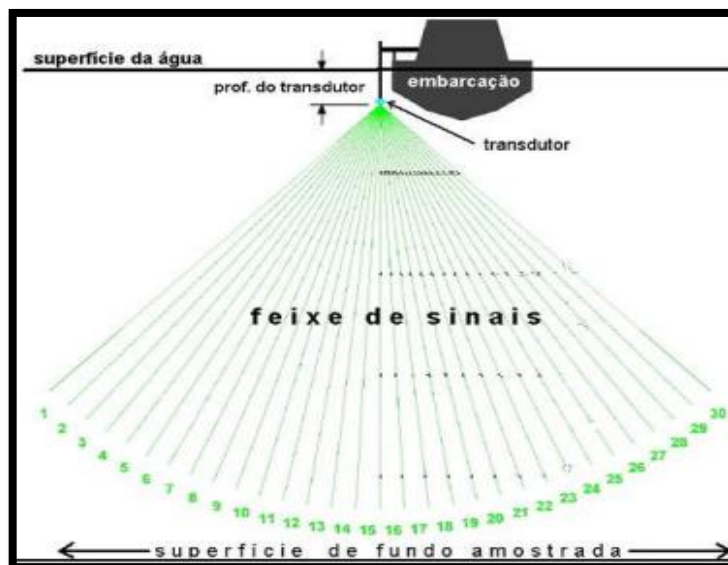


Figura 11 - Esquema de funcionamento da batimetria multifeixe

O propósito de um levantamento batimétrico multifeixe é produzir medidas acuradas de profundidades para vários pontos vizinhos no leito dos corpos hídricos, em larga escala, produzindo com acurácia uma foto batimétrica da morfologia do mesmo. Para que isso ocorra de forma eficiente, 2 (dois) requisitos são necessários: deve-se produzir, de forma acurada, espessuras da lâmina d'água que correspondam ao fundo investigado e também produzir um grande número de medidas em um tempo relativamente curto. O emprego de um instrumento multifeixe é reconhecido pela sua eficiência, permitindo a produção de mapas batimétricos em curtos períodos de tempo e com alta acuracidade. Na prática, com o uso desta tecnologia, o trabalho de um ecobatímetro monofeixe está sendo realizado em diversos pontos no fundo do corpo hídrico de uma só vez.

Em um levantamento batimétrico multifeixe adota-se linhas de sondagem paralelas à isóbatas, ou seja, no sentido longitudinal do talvegue.



### 10.1.3. Calibração dos Equipamentos

A calibração do ecobatímetro multifeixe é realizada com o intuito de que todos os dados levantados sejam concordantes com a realidade. Para que isso ocorra, alguns procedimentos são realizados em campo e serão descritos a seguir.

Após o transdutor do ecobatímetro multifeixe ser afixado ao suporte e ao barco é inevitável que ele não se encontre na orientação perfeita para a aquisição dos dados, podendo estar com inclinações com relação aos eixos coordenados. Tal efeito é totalmente corrigido com os procedimentos de calibração, que compensa a inclinação do equipamento em relação aos três eixos coordenados, como é ilustrado na Figura 12.

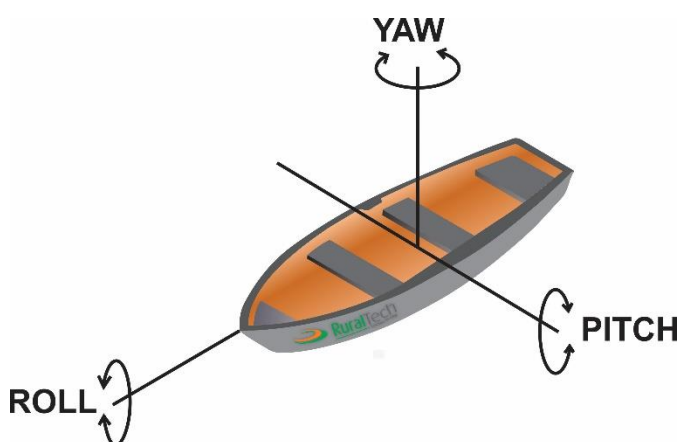


Figura 12 - Ilustração dos ângulos de calibração

Os três ângulos a serem calibrados são o *roll*, *pitch* e *yaw*, que representam a variação angular em que o equipamento se encontra em torno dos eixos y, x e z, respectivamente.

Durante os procedimentos de calibração, a primeira correção a ser realizada é a variação angular que o equipamento se encontra em torno do eixo y (*roll*). O procedimento para corrigir essa variação angular se dá com a aquisição de duas linhas batimétricas, com sobreposição de áreas, em sentidos opostos, num relevo plano no leito do rio. Desta forma, o programa calcula a diferença no tempo de chegada do pulso em uma determinada área, e assim sugere o ângulo que melhor se adequa à aquela diferença.



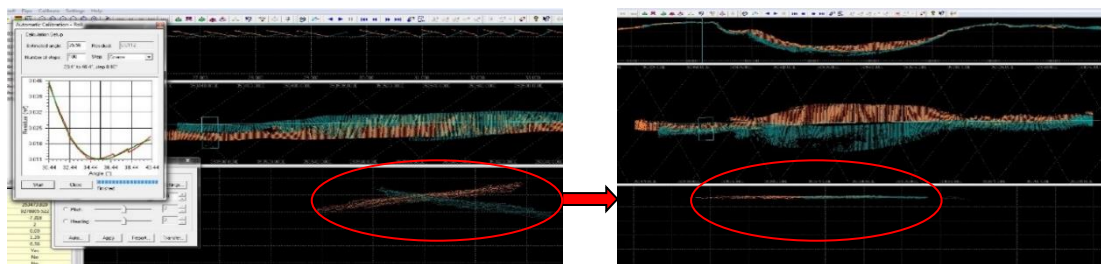


Figura 13 - Esquema ilustrativo da calibração do roll

O segundo passo da correção é o do ângulo em torno do eixo x (*pitch*). Da mesma forma que na primeira correção é necessária também a aquisição de duas linhas batimétricas em sentidos opostos, entretanto a área de sobreposição deve conter inclinações no relevo no sentido da navegação. Nesta área é calculada a diferença de tempo de chegada da onda. Um ângulo é então atribuído para compensar tal diferença.

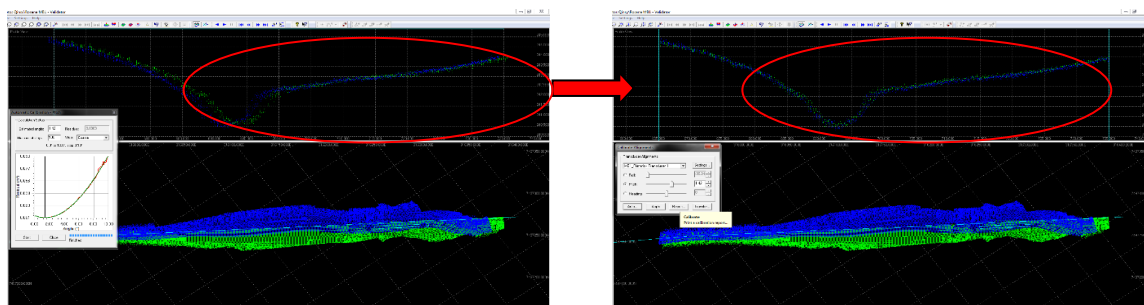


Figura 14 - Esquema ilustrativo da calibração do pitch

O terceiro e último passo da calibração é a compensação do ângulo em torno do eixo z (*yaw*). Ao contrário dos procedimentos anteriores, essa se dá com a realização de duas linhas batimétricas no mesmo sentido, porém com um *offset* de uma para outra, mantendo uma área de sobreposição. O relevo na área deve conter também inclinação no sentido da navegação, e assim a diferença no tempo de chegada da onda é utilizada para atribuir um ângulo entre a direção de navegação e orientação do equipamento, responsável por este erro.





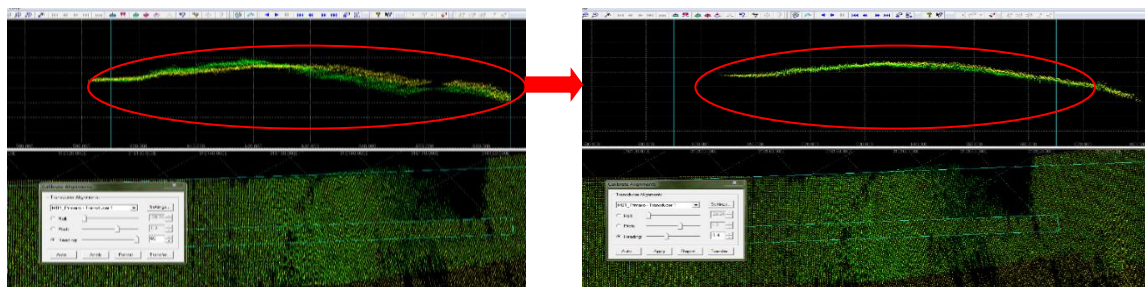


Figura 15 - Esquema ilustrativo da calibração do yaw

Os procedimentos de calibração devem ser realizados toda vez que o equipamento é montado para trabalhar ou quando algo afetar a configuração inicial do suporte. A Rural Tech, para manter a qualidade em seus levantamentos, realiza periodicamente a conferência da calibração, realizando a aquisição de linhas sobrepostas e verificando a coerência nos dados coletados.

Nos levantamentos deste empreendimento, a calibração realizada antes do início dos serviços obteve boas soluções para cada variação angular. Os ângulos obtidos são apresentados na Tabela 1 a seguir e os gráficos e resultados da calibração encontram-se no relatório de Levantamento Batimétrico do Açude Bituri.

Tabela 1: Variação angular obtida na calibração

Ângulo	
Pich	-3.40
Roll	20.25
Yaw	-2.80

#### 10.1.1. Sensor e Perfilador de Velocidade de Som

A velocidade do som na água é uma variável fundamental em levantamentos batimétricos e varia com três fatores do meio em que se propaga: Temperatura, Pressão e Densidade. Em levantamentos de água doce, em que a densidade não varia muito com a profundidade, a temperatura acaba se tornando a principal influência na propagação da onda sonora na água. Quanto menor a temperatura, menor a velocidade de propagação do som na água, logo, nas porções mais fundas dos corpos d'água a velocidade pode ser significativamente diferente do que na superfície.





Para se obter uma maior acurácia nos levantamentos batimétricos multifeixe, são utilizados dispositivos acoplados ao equipamento principal que mensuram a velocidade de propagação do som na água praticamente na superfície. Tais valores são reconhecidos e inseridos diretamente no cômputo dos dados batimétricos, corrigindo diretamente as medições de profundidades realizadas.

Os sensores para mensuração da velocidade de propagação do som na água (Figura 16) medem continuamente a velocidade do som próxima ao transdutor do ecobatímetro utilizando um outro transdutor de 2 MHz. Com o tempo de percurso da onda através de uma distância conhecida ele determina diretamente a velocidade de propagação do som no meio. A posição do sensor ajuda a suavizar o fluxo de água na câmara de amostragem e permite medidas mais acuradas de velocidade de propagação do som na água permitindo um fluxo de até 10 Nós. Tal equipamento evita a obtenção de profundidades falsas, que decorrem da variação da velocidade de propagação do som na água durante o levantamento, ocasionada principalmente pela variação da temperatura ao longo do dia.



Figura 16 - (A) Sensor de velocidade do som acoplado ao transdutor multifeixe; (B) Transdutor utilizado para obtenção da velocidade do som; (C) Diagrama simplificado do funcionamento do sensor de velocidade do som durante a aquisição

Outro dispositivo utilizado em levantamentos desta natureza é o perfilador de velocidade do som, que é utilizado para coletar amostras da velocidade de propagação do som ao longo da coluna de água, cuja operação se dá preferencialmente na região de maior profundidade do corpo hídrico. Este dispositivo possui um princípio de funcionamento similar ao sensor descrito anteriormente, porém as medições do perfil de velocidades são temporalmente menos frequentes do que a realizada pelo dispositivo que mede



continuamente (Figura 17). Tais valores são inseridos nos programas de processamento de dados batimétricos, corrigindo as medições de profundidades realizadas.

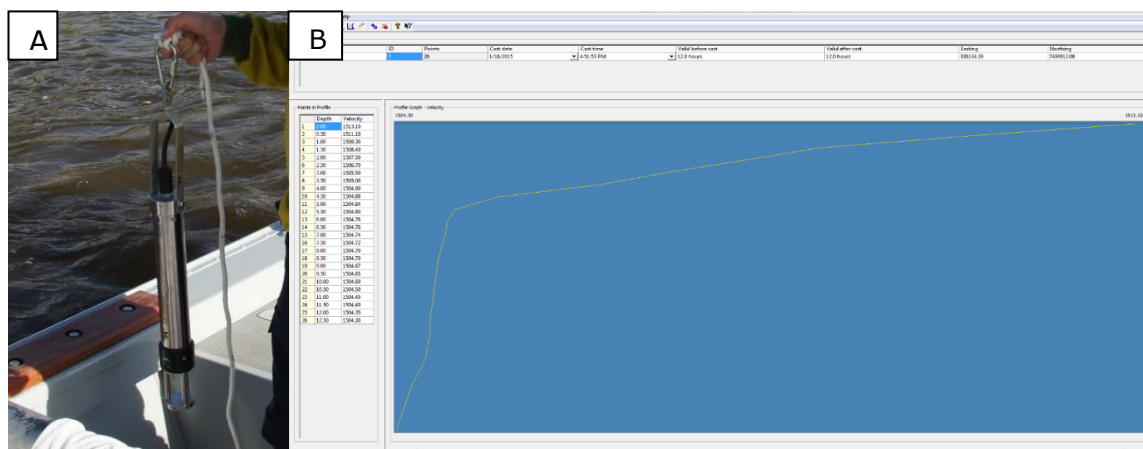


Figura 17 - (A) Perfilador de velocidade do som modelo Teledyne Odom Digibar S (B) Perfil de velocidade do som que é inserido no software

Assim, de uma forma geral, estes dispositivos são utilizados para evitar erros e falseamentos devido à variação da velocidade de propagação do som na água em função da profundidade local.

### 10.1.2. Amarração Altimétrica

O levantamento batimétrico, por si só, realiza medições de profundidade local da lâmina d'água, em um referencial arbitrário. Para a conversão das profundidades sondadas para altitude é necessário que estes dados sejam amarrados à um Referencial Altimétrico, seja ele um referencial local ou o Sistema Geodésico Brasileiro - SGB. No âmbito deste trabalho adotou-se o SGB como referencial altimétrico, para isso, foi realizado um nivelamento geométrico de precisão partindo do RN1812L até o posto de réguas do barramento do açude Engenheiro Severino Guerra<sup>8</sup>.

A amarração se dá pela medição do nível da água do reservatório no momento em que se executa o levantamento batimétrico. Esta medição pode ser realizada pela

<sup>8</sup> Toda a metodologia e resultados encontrados durante este trabalho encontra-se no Relatório de Apoio Geodésico de Campo do açude Engenheiro Severino Guerra.



instalação de réguas linimétricas ao longo do reservatório, e/ou pelo monitoramento realizado pela própria Concessionária do empreendimento, em todas as réguas existentes.

A distribuição quantitativa das réguas linimétricas ao longo dos açudes e/ou reservatórios ocorre principalmente em função das mudanças das características morfológicas locais destes corpos hídricos. A inserção de uma nova seção de réguas é sempre necessária quando as áreas em sondagem distam muito do monitoramento existente, realizado normalmente no barramento dos açudes e reservatórios, em áreas de deságue de contribuintes significativos e em áreas próximas a outros barramentos, que possibilitam uma variação constante na vazão defluente nas áreas de remanso.

## 10.2. LEVANTAMENTO DA ÁREA MOLHADA

---

O levantamento cartográfico da área molhada do açude Bituri foi realizado empregando ecobatímetros multifeixe e monofeixe. Este levantamento serviu para compor conjuntamente com os dados do recobrimento aéreo e do perfilamento laser a área do reservatório, e assim, gerar o seu Modelo Digital de Elevação (MDE), e o posterior cálculo do volume de água disponível no mesmo nos seus diversos níveis.

### 10.2.1. Desenvolvimento dos Serviços

---

O levantamento batimétrico do açude Bituri foi compreendido entre os dias 28 de julho e 01 de agosto de 2017. Para um melhor aproveitamento e melhor produtividade dos levantamentos, foram designados equipamentos específicos para cada tipo de área a ser levantada. Para as áreas rasas, com profundidades menores que 10 metros, e com maior risco para a navegação foram empregados ecobatímetros monofeixe. Para áreas mais profundas (canal principal e áreas adjacentes), foi designado o equipamento multifeixe - Reson SeaBatT20P.

Os trabalhos foram iniciados com o levantamento nas proximidades do barramento do Açude Engenheiro Severino Guerra e seguindo até as suas áreas de remanso, com o levantamento integral por tecnologia monofeixe. Com o conhecimento de onde se encontravam as áreas mais profundas, realizou-se o levantamento multifeixe do canal e áreas adjacentes. A Figura 18 ilustra os levantamentos monofeixe e multifeixe realizados no reservatório de Engenheiro Severino Guerra.

O levantamento monofeixe foi realizado com espaçamento transversal de 20 (vinte) metros e longitudinal de 40 (quarenta) metros no corpo principal, e transversal de



10 (dez) metros e longitudinal de 20 (vinte) metros em braços e afluentes, em todas as áreas navegáveis. O levantamento com tecnologia multifeixe foi realizado com resolução espacial de 1 m<sup>2</sup>, sem deixar buracos maiores que o espaçamento entre as linhas estabelecidas para o levantamento monofeixe.



Figura 18 - Integração das técnicas batimétricas monofeixe e multifeixe aplicadas no Açude Bituri

Ao fim do levantamento foi realizado o controle de qualidade do trabalho executado. Para isso foram planejadas linhas transversais e longitudinais, distintas das linhas originárias, que se cruzassem em no máximo 150 metros de distância, executadas com ecobatímetro monofeixe. Além das linhas planejadas foi realizado o levantamento do contorno do reservatório, ou seja, levantamento monofeixe acompanhando a margem do açude. As linhas de controle transversais cruzaram, além das longitudinais, com as linhas do contorno do reservatório (Figura 19).







Figura 19 - Linhas de controle de qualidade executadas no Açude Bituri

As adversidades encontradas durante a execução dos trabalhos batimétricos estão relacionadas à grande quantidade de vegetações flutuantes e também paliteiros presentes ao longo de todo o açude, além de diversas regiões com afloramentos rochosos submersos e expostos, que tornavam a navegação perigosa. Aliados a estes fatores, as presenças de chuvas durante os levantamentos elevaram a dificuldade da aquisição de dados e obrigaram uma maior cautela na navegação neste açude.

#### 10.2.2. Monitoramento do Nível d'Água

De acordo com o item 11.10.1 das Especificações Técnicas, devem ser instaladas seções de réguas linimétricas a cada 10km, contados a partir do barramento. No caso em questão, o açude apresentou área molhada com extensão inferior à 10km, e por isso optou-se pelo monitoramento com uma única seção de réguas, presente no seu barramento. Na Figura 20 é ilustrada a localização geográfica da seção de réguas linimétricas que foi utilizada no monitoramento do açude, e na Figura 21 é apresentado



um pequeno trecho da tabela de variação de nível, em cota ortométrica, observada durante a execução dos levantamentos batimétricos.

O monitoramento do nível do açude foi realizado por meio de um dispositivo Data Logger instalado juntamente a régua linimétrica presente no barramento do açude Bituri, configurado para executar leituras de 15 em 15 minutos.

Os Data Loggers são dispositivos que fazem medidas periódicas de pressão e temperatura do ambiente em que se encontram. Quando inseridos na água, medem a pressão hidrostática da coluna d'água que está logo acima. Portanto, realizam o monitoramento contínuo da variação de nível através do acréscimo ou decréscimo do nível da coluna d'água. Como medem a pressão absoluta do ponto em que se encontram, a pressão atmosférica também influi diretamente na medição, e assim, deve-se instalar um dispositivo fora da água para o monitoramento da pressão atmosférica e uma posterior compensação.

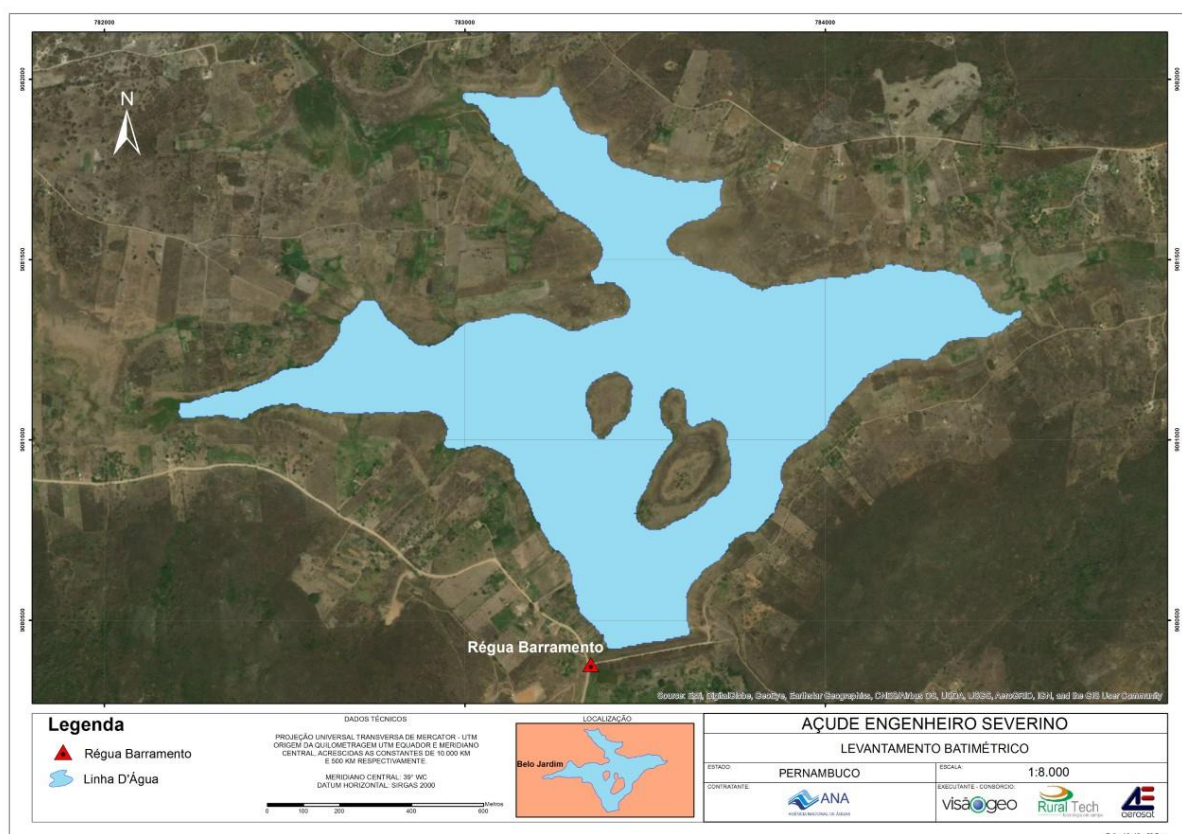


Figura 20 - Régua Linimétrica utilizada no monitoramento de nível do Açude Bituri





Data Hora (d/m/a h:m)	Cota Barramento SGB
28/07/2017 08:45	637,27
28/07/2017 09:00	637,28
29/07/2017 09:00	637,40
29/07/2017 09:15	637,40
31/07/2017 09:00	637,57
31/07/2017 09:15	637,57

Figura 21 - Trecho da Tabela de Variação de nível de água na régua linimétrica do barramento do Açude Bituri

### 10.2.3. Processamento dos Dados Batimétricos

O processamento dos dados batimétricos é a etapa de escritório que sucede os levantamentos de campo e englobam a validação e ajustes dos dados, o ajuste dos dados de monitoramento de nível de água do açude durante a execução dos levantamentos e a redução das profundidades medidas para cotas ortométricas.

### 10.2.4. Aquisição e Processamento dos Dados Batimétricos

Os softwares utilizados no processamento dos dados foram os mesmos empregados na aquisição. Para o conjunto *Reson SeaBat T20P* foi utilizado o software PDS2000, versão 4.2, produzido pela Teledyne. Para os conjuntos monofeixe, foi utilizado o software Hypack, versão 2016, produzido pela Hypack Inc.

Esses softwares operam com funcionalidades equivalentes, sendo utilizados tanto na etapa de aquisição dos dados batimétricos quanto na fase de processamento dos mesmos. Ambos são separados em módulos: Configuração do Projeto, Aquisição dos Dados Batimétricos e Processamento.

No módulo de Configuração do Projeto são estabelecidos os parâmetros geodésicos, os dispositivos que serão utilizados (GPS, compensador de ondas e transdutores), e os *offsets* de cada um dos dispositivos para um ponto de referência previamente determinado na embarcação.

Na interface de aquisição, durante o levantamento batimétrico, todas as configurações estabelecidas no módulo anterior são aplicadas e as informações de todos os dispositivos são integradas, formando, em tempo real, um *grid* do Modelo Digital de Elevação (MDE) que ilustra a área que está sendo mapeada. Ainda é possível, nesta etapa, a utilização de filtros que eliminam ruídos, e facilitam o trabalho de limpeza dos dados.



Ruídos são gerados geralmente por bolhas, vegetações submersas, reflexões múltiplas e outros fatores inerentes ao próprio levantamento batimétrico e aos equipamentos.

Os dados batimétricos são tratados antes de serem utilizados na elaboração de um novo *grid* de pontos para geração do Modelo Digital de Elevação. Tal procedimento é realizado no módulo de processamento de cada software (que oferecem uma vasta quantidade de ferramentas e utilitários), e tem como objetivo corrigir e eliminar dados espúrios, evitando que pontos “puxem” as curvas de nível para cima ou para baixo durante a geração do MDT. Para a eliminação dos mesmos, são aplicados filtros, além da limpeza manual que permite uma interpretação mais qualitativa dos dados.

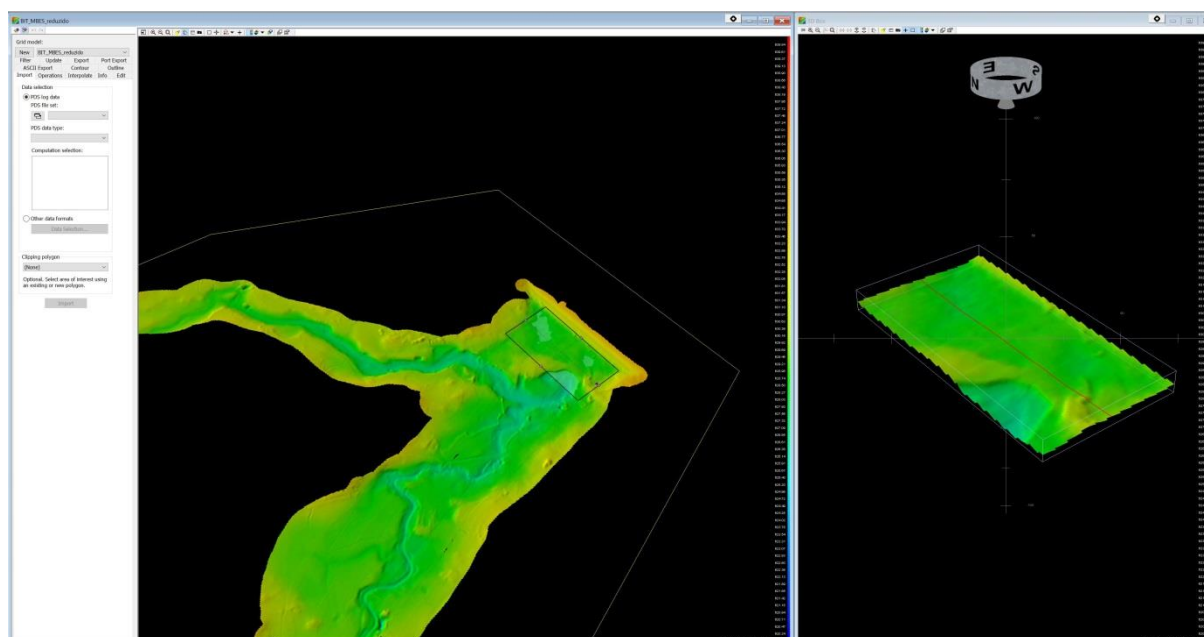


Figura 22 - Processamento e correção das linhas de sondagem multifeixe com o Seabat T20P no software pds2000, próximo à área do barramento do Açude Bituri

#### 10.2.5. Processamento dos Dados de Nível

Os dados de monitoramento de nível de água dos açudes foram obtidos por Data Loggers da fabricante *HOBBO*, dos modelos *U20* e *U20L*, os quais foram processados com o software *HOBOWare PRO Versão 3.7.5*.

Esses dados são inseridos no software supracitado, juntamente com àqueles da compensação atmosférica, sendo gerado um gráfico com a variação do nível no período em que o dispositivo esteve inserido na água. Alguns dados fora da tendência (ruídos) são retirados e é exportado desta forma um arquivo ASCII com Data, Hora e Cota.



Outras informações também podem ser visualizadas em formato gráfico como a Pressão Atmosférica e a Temperatura de cada medição.

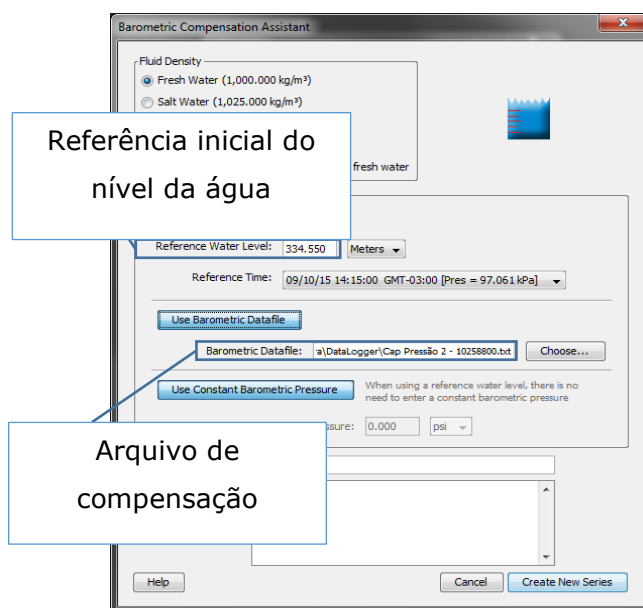


Figura 23 - Inserção da Referência Altimétrica e da Compensação Atmosférica

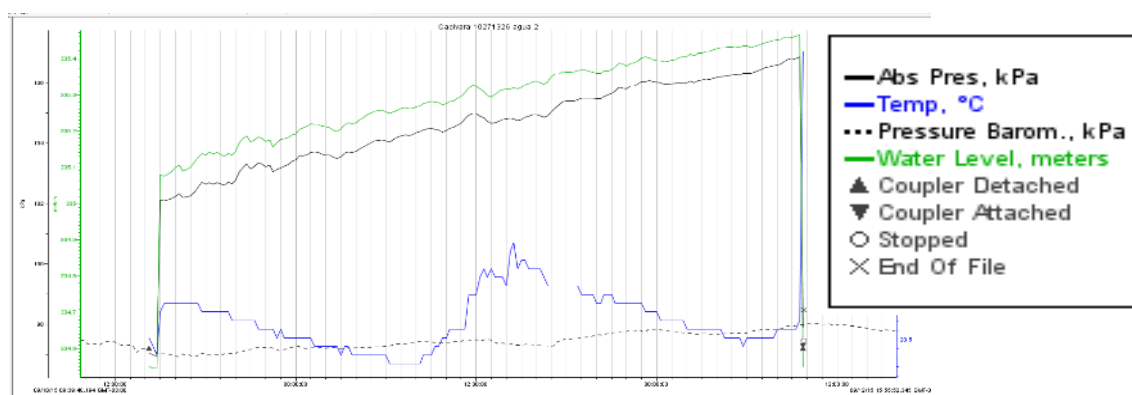


Figura 24 - Gráfico resultante do Processamento do Data Logger. Em verde, a variação centimétrica do nível da água ao longo do período em que o mesmo esteve na água

#### 10.2.6. Redução da Profundidade a Cota ortométrica

A redução das profundidades mensuradas às cotas ortométricas ocorreu por meio da correlação das mesmas com a cota do nível da água observada na estação monitorada por meio do DataLogger no barramento do empreendimento, conforme



descrito no item 10.2.2 e ilustrada na Figura 20 deste documento. Os arquivos de monitoramento de nível são inseridos nos softwares de processamento de dados batimétricos, que por sua vez, realizam de forma automática a redução das profundidades para cotas ortométricas de acordo com a data e hora da sondagem. Todos esses dados foram referenciados ao Apoio Básico Planialtimétrico de 2º Ordem.

Na Figura 25 é mostrado o gráfico de variação de nível no barramento do açude Engenheiro Severino Guerra durante os levantamentos batimétricos com pontos de 15 em 15 minutos.

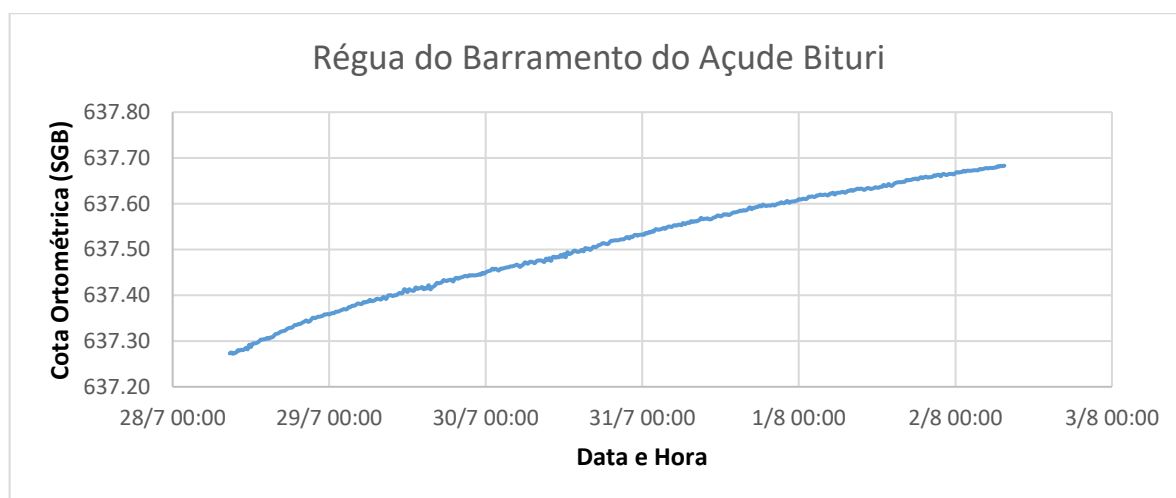


Figura 25 - Gráfico da variação de nível no barramento do açude Bituri

### 10.3. RESULTADOS E ANÁLISES

A área total levantada com a batimetria multifeixe e monofeixe foi de aproximadamente 1 Km<sup>2</sup>.

De modo a verificar a confiabilidade dos dados batimétricos monofeixe, foi realizada uma análise da variação da profundidade nos pontos onde as linhas de sondagem se cruzam no levantamento batimétrico originário. Para a análise foram selecionadas as intersecções de duas linhas e assim as diferenças de profundidades entre elas em tais pontos. Os pontos foram inseridos numa tabela, e além da estatística básica que é apresentada na Tabela 2 foi realizada uma análise conforme o item 11.16.6 das Especificações Técnicas, que estabelece as normas da OHI para levantamentos de Ordem Especial o atendimento da Incerteza Vertical Total (IVT) por meio da seguinte equação:



$$IVT = \pm \sqrt{0.0625 + (0.0075 * P)^2}^9$$

Tabela 2 - Estatística das diferenças da batimetria originária

Estatística Descritiva	
Média (m)	0.039
Mediana (m)	0.044
Desvio padrão (m)	0.113
Mínimo (m)	-1.539
Máximo (m)	0.955
Contagem	3307

A tabela acima apresenta as principais estatísticas da amostra analisada. Temos que a média e a mediana são bem próximas (cinco milímetros), indicando que não há grande presença de dados *outliers*, pois se assim fosse, a média estaria distante da mediana pois é influenciada por tais dados espúrios, enquanto a mediana não sofre influência da mesma forma. O desvio padrão é uma medida de dispersão da amostra, onde um alto desvio padrão indica que os dados estão espalhados em uma ampla gama de valores. No caso em questão o desvio padrão indica que, em sua maioria (68%), os valores estão espalhados em aproximadamente 11 centímetros em torno da média. A análise da IVT foi realizada com as 3307 (três mil trezentas e sete) amostras, com 3201 (96,8%) de valores dentro dos valores aceitáveis de incerteza.

O produto final do levantamento batimétrico é um grid de pontos processados e reduzidos, e é representado na Figura 26 em forma de imagem, em que as cores das células representam as cotas ortométricas, de acordo com a escala na legenda. Os pontos em formato ASCII são utilizados na elaboração do Modelo Digital de Elevação Final juntamente com os dados do aerolevantamento, e integrados por meio de interpolação que será explicada melhor no relatório de elaboração das Curvas Cota x Área x Volume.

<sup>9</sup> na qual P = profundidade mensurada no Ponto de Controle Batimétrico.



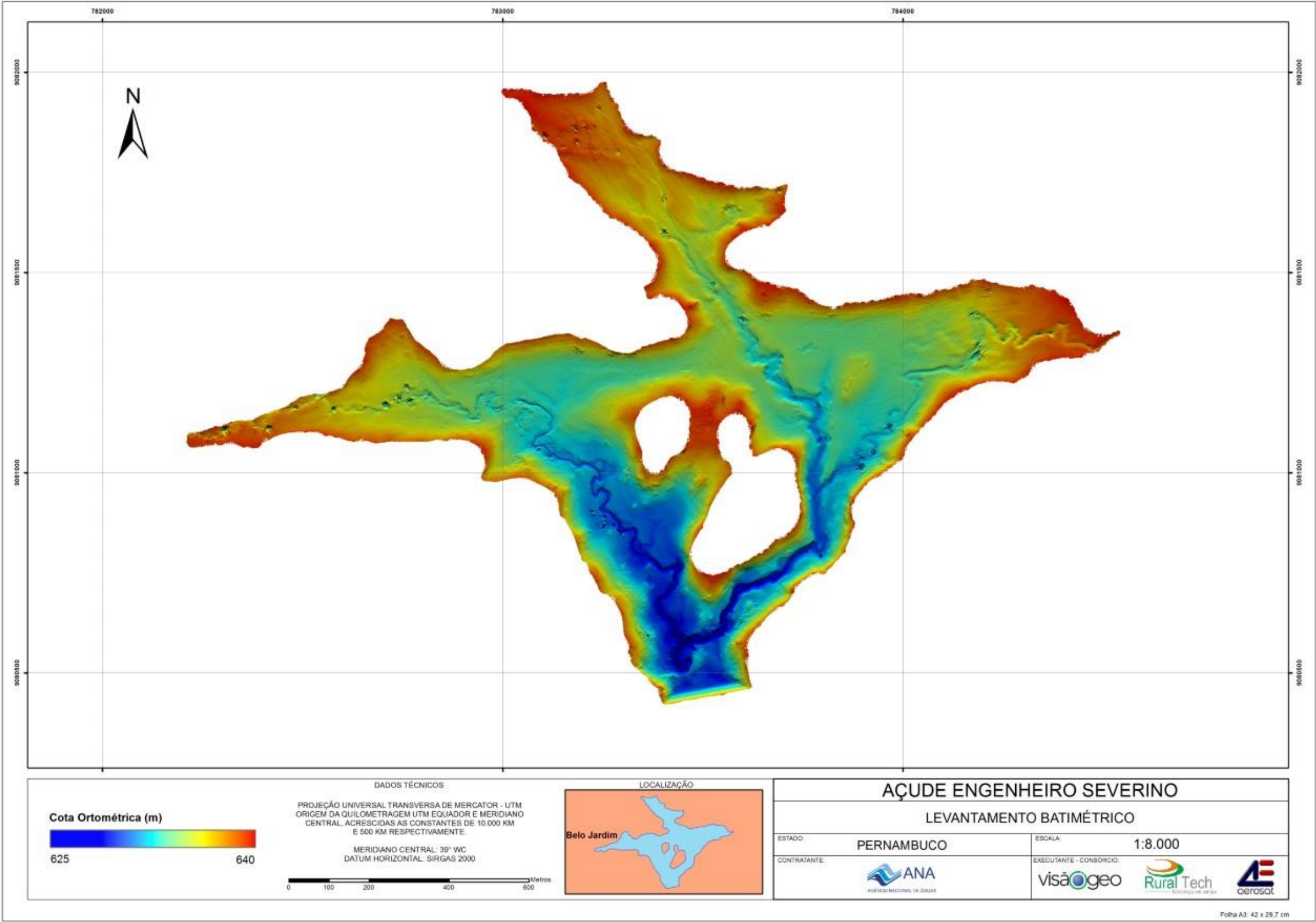


Figura 26 - Grid de pontos batimétricos



#### 10.4. CONTROLE DE QUALIDADE

Para fins de verificação do modelo foram analisadas as linhas de controle, realizadas conforme descritas no Item 10.2.1 e ilustradas na Figura 19. Foram utilizados 58 (cinquenta e oito) pontos de controle para avaliação de um modelo batimétrico preliminar<sup>10</sup>. Primariamente, foram analisadas as intersecções das linhas de verificação. A estatística descritiva é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Estatística das diferenças das Linhas de Verificação

Estatística Descritiva	
Média (m)	-0.032
Mediana (m)	-0.02
Desvio padrão (m)	0.105
Mínimo (m)	-0.36
Máximo (m)	0.22
Contagem	58

Da mesma forma que os conceitos apresentados no Item 10.3 temos que a diferença entre média e mediana é de aproximadamente um centímetro, representando a baixa presença de dados espúrios, e um desvio padrão de aproximadamente 10 (dez) centímetros, indicando que 68% dos dados testados estão com diferenças entre e -13 e 7 centímetros.

Verificou-se que nos cruzamentos das linhas de sondagem transversais e longitudinais do levantamento batimétrico de controle, em quase 96% dos casos, é atendida a IVT estabelecida pela OHI para levantamentos de Ordem Especial. Desta forma, a média das profundidades nos pontos de cruzamento foi utilizada para avaliar o modelo preliminar gerado pela batimetria. Os pontos e o modelo são apresentados na Figura 27.

<sup>10</sup> Usado interpolador Topo to Raster presente no software ArcGis.



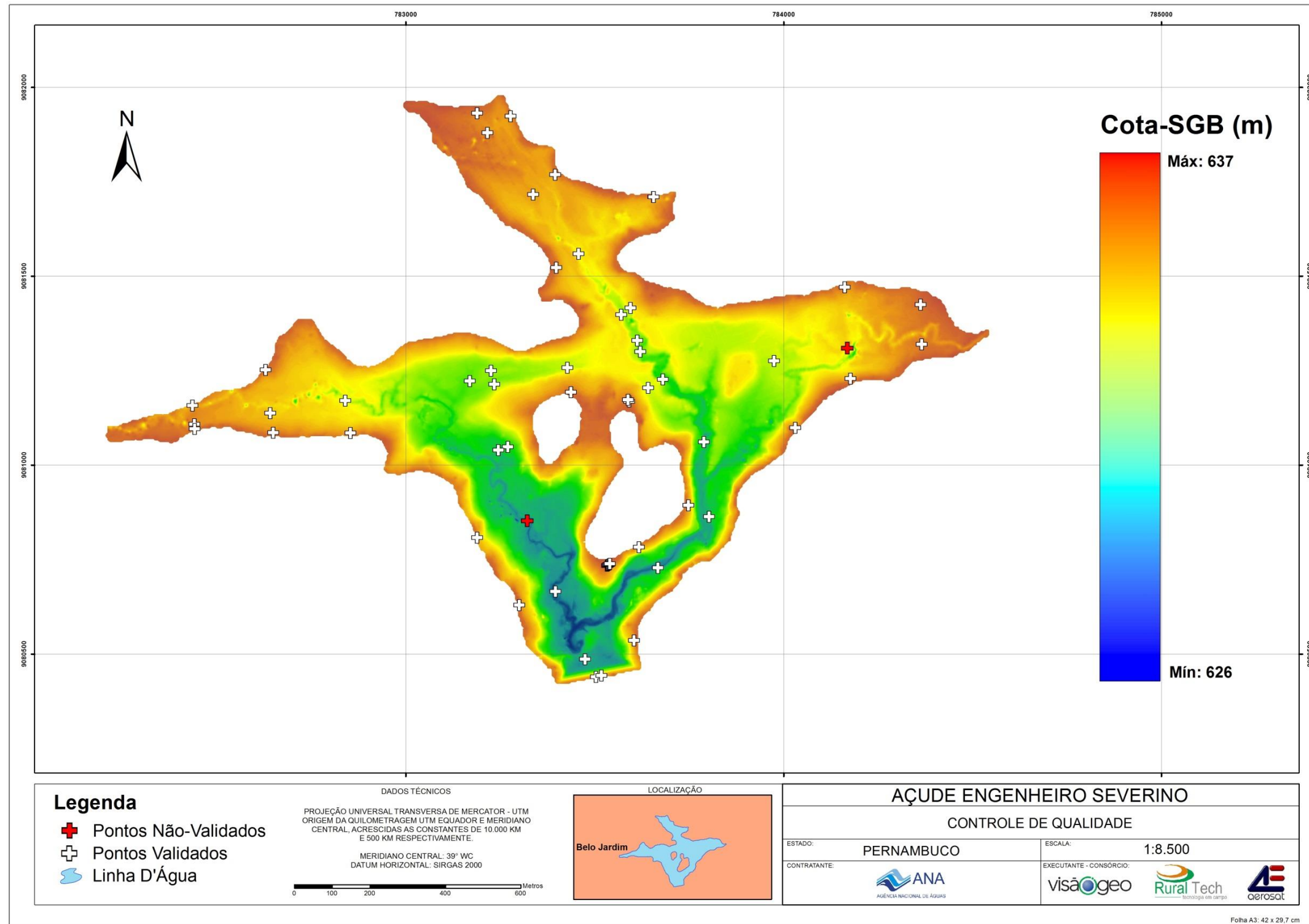


Figura 27 - Pontos de conferência utilizados para análise do modelo

Dos 58 (cinquenta e oito) pontos que foram utilizados para análise do modelo, 56 (cinquenta e seis) pontos ficaram dentro da margem permitida pela IVT e apenas 2 (dois) acima dos valores permitidos. Entretanto, verificou-se que os pontos de conferência nas proximidades dele possuem boa aderência com relação ao modelo, levando a crer que as linhas originárias estão coerentes e que a discrepância pode ser relacionada a algum problema aleatório na execução das linhas de conferência. Além disto, os 2 pontos estão em profundidades distintas (cinco e nove metros), mas em áreas de variação acentuado de declividade. Reafirma-se que tais erros devem ser de natureza aleatória e não sistemática.

Na Tabela 4 são apresentados os pontos de cruzamento e as suas respectivas cotas ortométricas mensuradas e as retiradas do modelo batimétrico, a profundidade média daquele ponto, os valores de IVT e os valores da diferença absoluta entre as cotas ortométricas mensuradas e as retiradas do modelo preliminar gerado.

Um modelo de avaliação espacial das diferenças é apresentado na Figura 28, e foi criado a partir da razão entre as diferenças, obtidas entre pontos de controle com o modelo batimétrico preliminar, e o IVT aceitável para as respectivas profundidades. Desta forma, áreas com valores próximos a 0 (zero) indicam uma grande aderência dos pontos de controle para o modelo batimétrico, áreas com valores acima de 1 (um) seriam aquelas onde o IVT aceitável foi ultrapassado. Com base na avaliação a seguir e com os parâmetros supracitados, nota-se uma grande aderência em praticamente toda a área avaliada, e mesmo nas redondezas dos dois pontos não validados, percebe-se que os pontos mais próximos possuem valores de razão Diferença/IVT de 0,013 e 0,17, ou seja, indicam alta aderência no modelo.



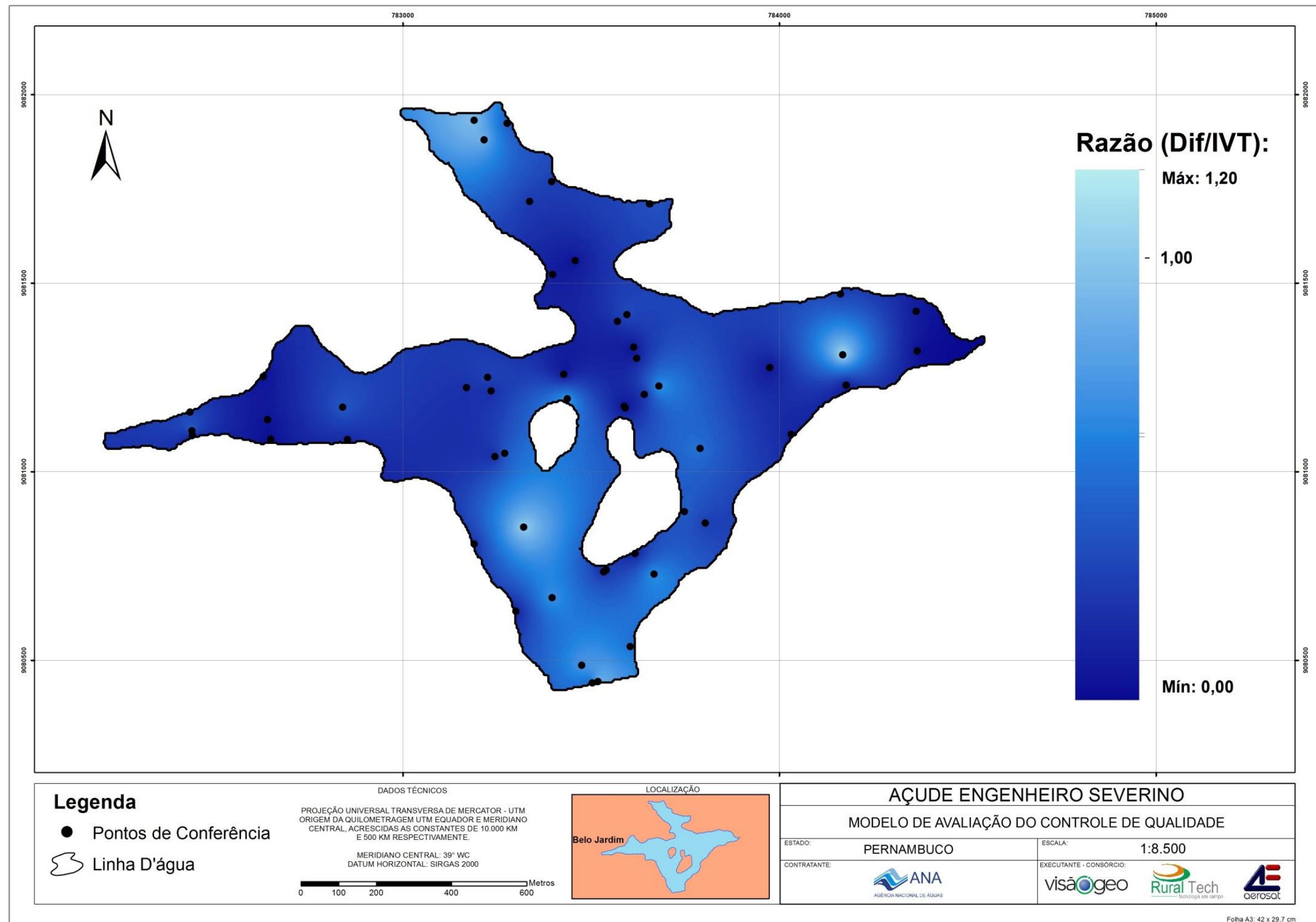


Figura 28 - Modelo de avaliação espacial do controle de qualidade



WWW.VISÃOGEO.COM.BR

RUA JUVÊNCIO COSTA, 141 • TRINDADE • FLORIANÓPOLIS, SC • BRASIL •

TEL.: +55 48 3233-1031 • FAX: +55 48 3233-1031

Tabela 4 - Análise dos Pontos de Conferência

Este (m)	Norte (m)	Cota Cruzamento	Cota Modelo	Prof Média	IVT aceitável	Diferença Absoluta
784168,81	9081309,21	632,98	633,28	4,53	0,25	0,30
783321,53	9080852,19	628,36	628,64	9,15	0,26	0,28
783518,50	9080442,50	635,38	635,15	2,13	0,25	0,23
783189,50	9081931,50	636,19	635,95	1,33	0,25	0,23
783216,42	9081879,74	635,84	635,63	1,62	0,25	0,21
783437,50	9081192,50	636,49	636,29	1,03	0,25	0,19
783475,24	9080485,69	628,79	628,98	8,72	0,26	0,19
783680,69	9081226,92	630,65	630,84	6,96	0,26	0,19
783396,63	9080665,37	627,56	627,38	9,95	0,26	0,18
783667,70	9080728,09	628,22	628,40	9,29	0,26	0,18
783789,85	9081060,81	630,50	630,37	7,01	0,26	0,13
782440,51	9081108,14	635,38	635,50	2,13	0,25	0,12
783604,50	9080535,50	635,19	635,07	2,32	0,25	0,12
783748,50	9080893,50	635,45	635,34	2,06	0,25	0,11
782840,26	9081170,46	632,44	632,54	5,08	0,25	0,11
783656,50	9081709,50	635,13	635,03	2,38	0,25	0,10
783270,92	9081048,09	630,59	630,69	6,92	0,26	0,10
783503,50	9080439,50	635,27	635,18	2,24	0,25	0,09
783595,25	9081415,87	633,23	633,15	4,28	0,25	0,09
783277,50	9081923,50	635,44	635,35	2,08	0,25	0,09
783540,50	9080738,50	636,46	636,37	1,06	0,25	0,08
783225,73	9081249,56	631,97	631,89	5,54	0,25	0,08
783655,50	9081709,50	635,13	635,05	2,38	0,25	0,08
782435,50	9081157,50	634,35	634,27	3,16	0,25	0,08
783395,50	9081768,50	635,66	635,59	1,85	0,25	0,07
784162,50	9081470,50	636,07	636,01	1,44	0,25	0,06
783803,57	9080863,05	629,70	629,63	7,81	0,26	0,06
783539,50	9080737,50	636,42	636,35	1,10	0,25	0,06
783337,21	9081715,88	635,02	634,96	2,49	0,25	0,06
783533,50	9080733,50	636,37	636,32	1,14	0,25	0,05
783570,65	9081397,96	632,34	632,39	5,17	0,25	0,05
783169,52	9081222,51	631,44	631,48	6,08	0,25	0,05
783641,82	9081204,08	632,50	632,45	5,02	0,25	0,05
783234,85	9081213,56	631,82	631,86	5,70	0,25	0,04
783189,50	9080807,50	634,92	634,87	2,60	0,25	0,04
783245,23	9081039,57	630,26	630,30	7,25	0,26	0,04
782853,50	9081084,50	635,20	635,24	2,31	0,25	0,04
784031,50	9081098,50	635,81	635,84	1,70	0,25	0,03
783534,50	9080734,50	636,37	636,34	1,15	0,25	0,03



Este (m)	Norte (m)	Cota Cruzamento	Cota Modelo	Prof Média	IVT aceitável	Diferença Absoluta
783621,15	9081299,84	631,40	631,38	6,11	0,25	0,02
784363,50	9081424,50	635,99	635,97	1,52	0,25	0,02
783398,50	9081522,50	635,83	635,81	1,68	0,25	0,02
783300,50	9080629,50	635,65	635,67	1,86	0,25	0,02
783617,50	9080782,50	635,43	635,41	2,09	0,25	0,01
782641,18	9081137,64	634,03	634,04	3,49	0,25	0,01
783537,50	9080736,50	636,36	636,35	1,15	0,25	0,01
783457,87	9081559,20	632,55	632,56	4,96	0,25	0,01
783535,50	9080735,50	636,36	636,35	1,15	0,25	0,01
783613,27	9081329,44	631,80	631,81	5,71	0,25	0,01
783591,50	9081168,50	636,36	636,35	1,15	0,25	0,01
782649,50	9081085,50	635,49	635,48	2,03	0,25	0,01
784366,24	9081319,13	635,87	635,86	1,65	0,25	0,01
783975,14	9081275,23	632,36	632,35	5,15	0,25	0,01
782629,50	9081251,50	636,09	636,09	1,43	0,25	0,00
784177,50	9081228,50	635,21	635,20	2,31	0,25	0,00
782441,50	9081095,50	635,50	635,50	2,01	0,25	0,00
783428,14	9081257,69	632,40	632,40	5,11	0,25	0,00
783588,50	9081172,50	636,27	636,26	1,25	0,25	0,00





## 11. PERFILAMENTO LASER

---

O Perfilamento a Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) é uma tecnologia desenvolvida para adquirir dados digitais de elevação do terreno com grande produtividade e rapidez para a construção de maneira direta do produto cartográfico do tipo Modelo Digital de Terreno (MDT), que vem substituindo o uso de restituições fotogramétricas ou levantamentos topográficos tradicionais.

### 11.1. DETALHES TÉCNICOS DA EXECUÇÃO

---

O funcionamento do sistema de Perfilamento por Laser Scanner Aerotransportado está baseado na emissão de um feixe de Laser, pulso eletromagnético em determinada frequência no espectro infravermelho, em direção a superfície terrestre. Na superfície onde estes feixes chegam, são refletidos por obstáculos (construções, vegetação ou o próprio terreno) e captados pelo sensor. Para cada feixe emitido é registrado o tempo de percurso aeronave – obstáculo – aeronave. A partir do tempo de percurso do pulso eletromagnético é possível determinar a distância percorrida utilizando para tal a velocidade do deslocamento do pulso (velocidade da luz, aproximadamente 300.000 km/s).

Cada pulso laser que retorna ao equipamento traz informações não só da estrutura vertical da superfície, mas inclui informações sobre sua textura, altura e formato, refletividade dessas estruturas, que podem ser detectadas através de técnicas avançadas de processamento e classificação.

Todos os cuidados necessários foram tomados para que as atividades referentes à cobertura a laser<sup>11</sup> fossem executadas conforme o planejamento constante no Relatório de Plano de Voo, devidamente aprovado pela ANA. Na Figura 29 é mostrada a nuvem de pontos levantada no Perfilamento a Laser da área do açude Bituri, na qual não se observa falhas ou buracos, conforme preconiza o Edital.

---

<sup>11</sup> Diferentemente do levantamento das fotografias aéreas, no Perfilamento a Laser não se trabalha com o recobrimento lateral de 30%, basta a área estar totalmente recoberta e sem falhas.



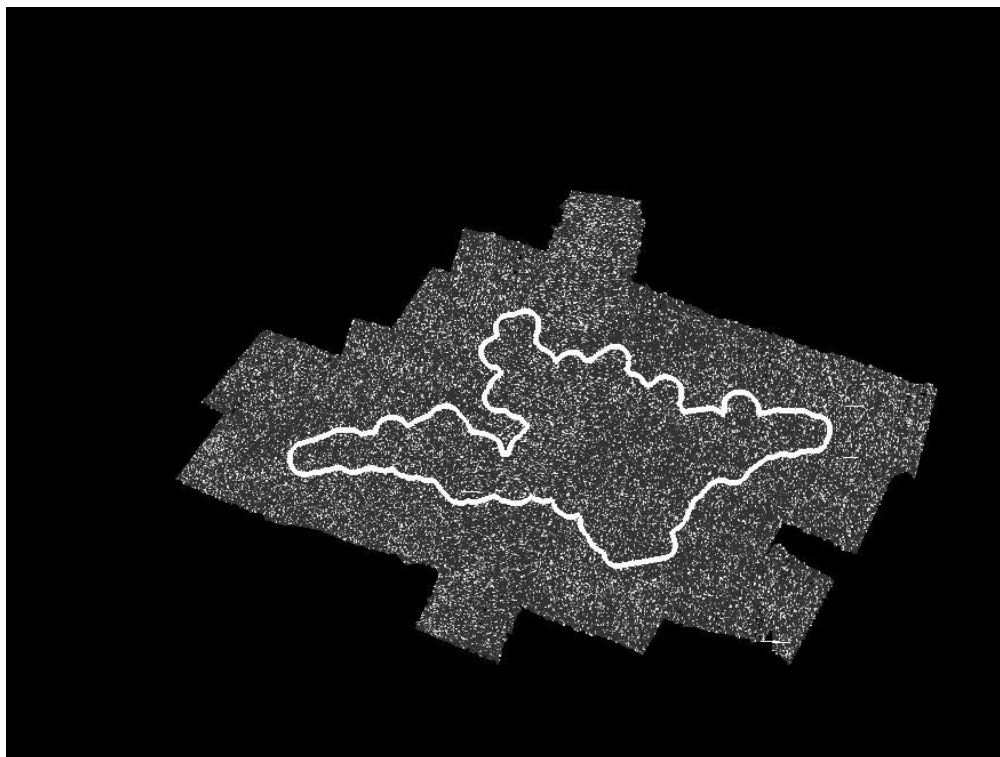


Figura 29 - Cobertura do Perfilamento a Laser

Os dados obtidos através do levantamento foram processados utilizando o software Riegl. Após a realização do voo, os dados brutos foram processados juntamente com as informações do GPS e Sistema Inercial (IMU), visando determinar para cada ponto sua exata posição espacial. Para isso, são calculadas as trajetórias desses pulsos laser, através de processamentos em relação a uma base (coordenadas conhecidas) ou pelo PPP (Posicionamento Por Ponto Preciso) para determinação das posições dos dados laser. O ponto denominado como "Base Belo Jardim<sup>12</sup>" está localizado no aeroporto da cidade de Belo Jardim e distante aproximadamente 4km do açude Engenheiro Severino Guerra (Bituri) e está localizado nas coordenadas planas, Norte (N) 9076534,999m e Este (E) 781989,749m e Altitude Elipsoidal (H), 639,698m.

O marco está referenciado ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB/IBGE) através do rastreamento com o marco da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) no SAT-93318 (Anexo II do Relatório do Aerolevantamento), localizado na cidade de Afogados da Ingazeira.

<sup>12</sup> Não está amarrado ao Apoio de Campo Geodésico.



Para a determinação das coordenadas planimétricas dos marcos pertencentes, foi utilizado o posicionamento GNSS relativo estático, onde no mínimo 2 (dois) receptores de dupla frequência, que simultaneamente rastreiam satélites por um período mínimo 50 (cinquenta) minutos. O processamento e ajuste das linhas base da poligonal e da rede final foram feitos utilizando o software Topcon Tools 7.5.2 da Topcon.

Nos Quadro 16 e Quadro 17 abaixo é apresentada, as planilhas de processamento dos pontos, onde pode-se ver as coordenadas finais e os respectivos desvios padrões do vértice, e a planilha de observação e do vetor formado, onde pode-se ver o tempo de observação, bem como os resultados do ajustamento de cada vetor.

As faixas de voo paralelas e adjacentes foram comparadas e unidas de forma a calcular e eliminar qualquer flutuação na precisão. Nessa etapa também foi feita a correção geoidal fazendo com que os arquivos (\*.LAS) resultantes estivessem representados sobre o modelo geoidal local. O software utilizado foi o RiPROCESS, fornecido pela própria fabricante do equipamento laser.

Na Figura 30 (apenas ilustrativa e sem escala) é mostrado o processo de controle de qualidade realizado no software Riegl, com a nuvem de pontos e o HV-002 do açude Engenheiro Severino Guerra (Bituri).

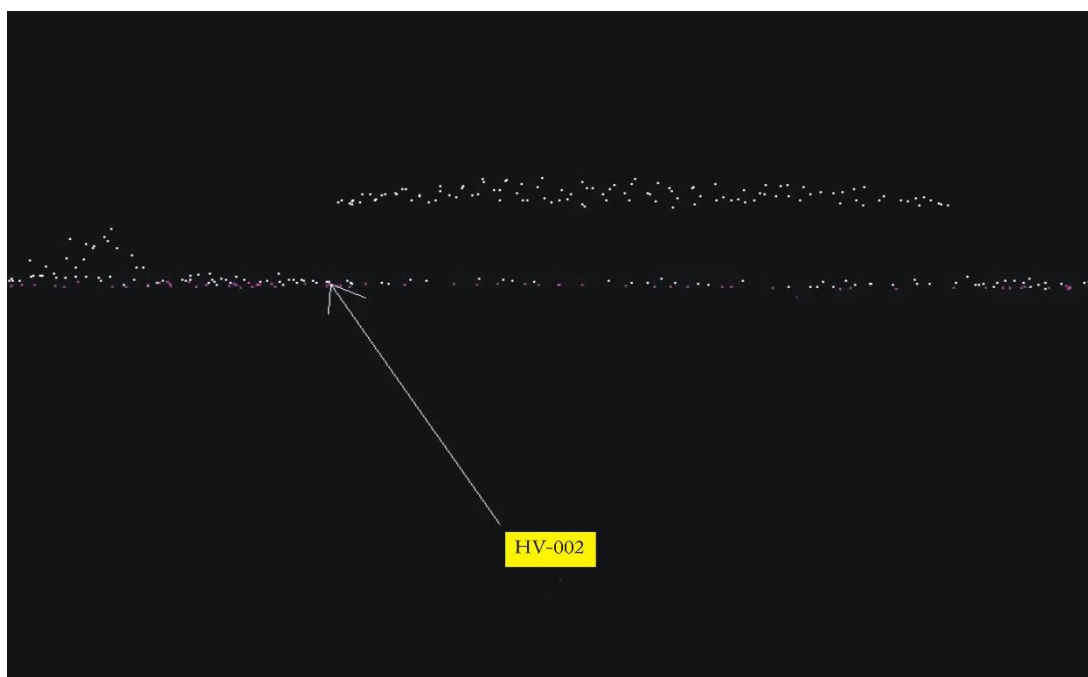


Figura 30 - Controle de Qualidade do Perfilamento a Laser junto ao HV-002



Quadro 16 - Memória de Cálculo – GNSS – Apoio Básico Planimétrico de 2ª Ordem – Vetores

Name	Duration	Solution Type	Antenna Type	Antenna Height Vertical (m) - Base	Antenna Type	Antenna Height Vertical (m) - Rover	PDOP	GPS Satellites	RMS	North RMS (m)	East RMS (m)	Distance (m)
Base Belo Jardim –PEAF	00:54:36	Fixed, Wide Lane	TRM39105.00	0,08	TRM39105.00	1,421	2,172	12	0,058	0,014	0,017	146340,754

Quadro 17 - Memória de Cálculo – GNSS – Apoio Básico Planimétrico de 2ª Ordem – Resultado Final

Name	Latitude	Longitude	Grid Northing	Grid Easting	Ell. Height	Ortho. Height	Geo. Undulation <sup>13</sup>	Std Dev n	Std Dev e	Std Dev u	Control
Base Belo Jardim	8°20'45,63323"S	36°26'22,94418"W	9076534,999	781989,749	639,698	645,375	-5,68	0,014	0,017	0,054	None

<sup>13</sup> Cálculo realizado pelo MAPGEO 2015.

Para auxiliar na navegação da aeronave durante as etapas de recobrimento aéreo foram utilizados os planos de voo gráficos e analíticos para o aerolevanteamento digital, conforme Figura 31.

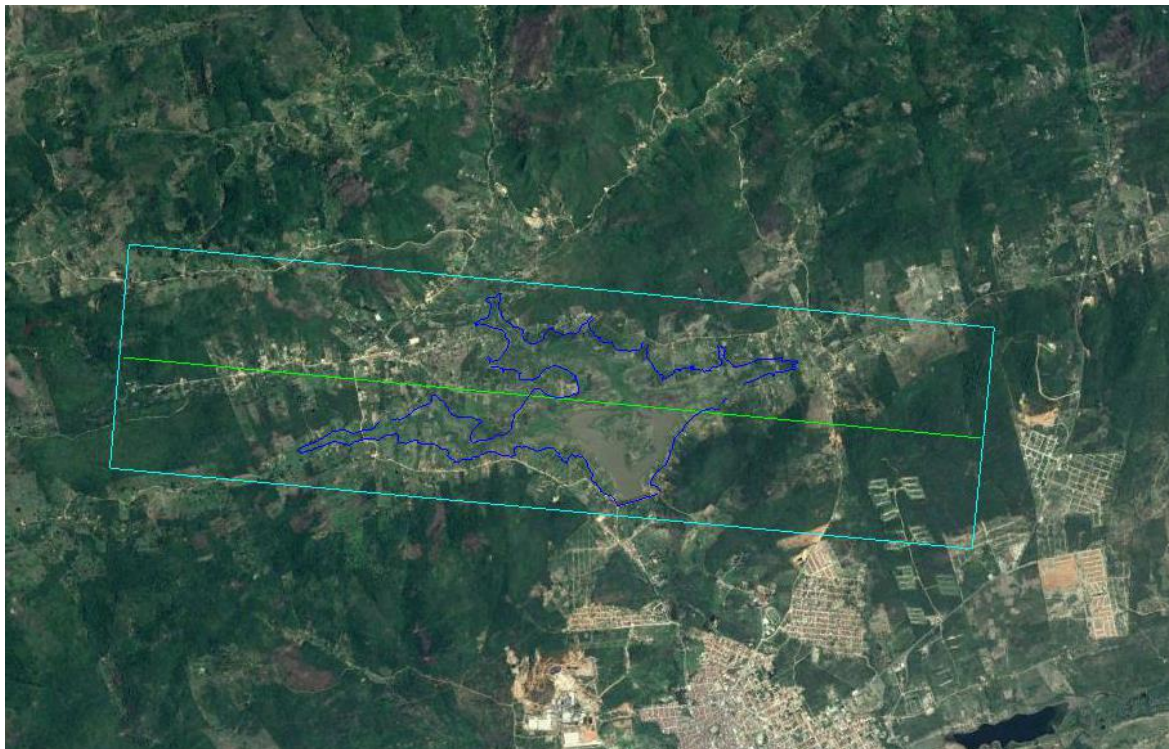


Figura 31 - Plano de Voo gráfico para realizar o Perfilamento a Laser

No Quadro 18 são apresentados os elementos técnicos do Perfilamento a Laser.

Quadro 18 - Elementos Técnicos do Perfilamento a Laser

Aeroporto Base	Altitude Média do Terreno	Altura Média do Voo	Velocidade Aeronave	Quantidade de Faixas
SBJU	675 m	2642,458 m	280 Km/h	1

Para o Perfilamento a Laser do açude Bituri, realizado no 12 de maio de 2017, não foram observados a ocorrência chuva, garoa ou neblina ou ocorrência de nuvens com altura inferior à prevista em voo, respeitando o limite de incidência de 5%, conforme preconiza o Edital no item 7.5.1 e demonstrado no Informe Meteorológico do Aeródromo presente no item 7.1.3 do Relatório do Aerolevanteamento.



## 11.2. TIPO, MODELO E CARACTERÍSTICAS DO PERFILADOR A LASER

Para a aquisição dos dados referentes ao Perfilamento a Laser do açude Bituri foi utilizado o *Laser Scanner V-Line® Airborne RIEGL VQ-480-U*, com espelho multifacetado rotativo e com frequência operacional de até 550 KHz, que proporciona linhas unidirecionais paralelas.

## 11.3. NUVEM DE PONTOS

Os dados laser foram coletados para este açude com uma densidade de 2 pontos/m<sup>2</sup>, conforme item 7.10.5 do Edital, sendo os mesmos coletados sobre feições de solo (asfalto, grama, entre outros) e feições acima do solo (edificações, vegetação, veículos, entre outros).

## 11.4. CONTROLE DE QUALIDADE DA NUVEM DE PONTOS

Para a verificação da qualidade do laser foram utilizados os pontos de controle (PC) e os pontos do apoio suplementar (HV), atendendo o item 7.20 das Especificações Técnicas do edital.

Nesta verificação, comparam-se os valores de H (altitude) coletados em campo (referência) dos PC's e os HV's com os valores obtidos a partir dos dados oriundos do Modelo Digital de Terreno (MDT), conforme Tabela 5. Neste processo, extraiu-se a coordenada H dos pontos do MDT através do software Global Mapper. A coluna "Diferença" da Tabela 6 corresponde à diferença de altitude entre o ponto de verificação e o ponto extraído do modelo para cada coordenada.

Tabela 5 - Comparação entre pontos de verificação com valores do MDT

PONTOS <sup>14</sup>	E (m)	N (m)	H (m)	H Laser (m)	Diferença (m)	PECD (m)	Validação
HV-002	785644,227	9081845,079	656,424	656,420	-0,004	0.54	Aprovado
HV-003	780282,212	9081221,650	660,998	661,050	0,052	0.54	Aprovado
HV-005	782933,349	9081593,694	648,904	648,920	0,016	0.54	Aprovado
PC-001	781855,609	9082041,225	676,867	676,820	-0,047	0.54	Aprovado
PC-002	784196,379	9081056,214	654,207	654,150	-0,057	0.54	Aprovado

<sup>14</sup> Os pontos HV-001 e 004 estão fora da área do Perfilamento a Laser.





PONTOS <sup>14</sup>	E (m)	N (m)	H (m)	H Laser (m)	Diferença (m)	PECD (m)	Validação
PC-003	783344,273	9080393,924	645,642	645,620	-0,022	0.54	Aprovado
PC-004	783675,497	9080446,800	644,812	644,850	0,038	0.54	Aprovado

Tabela 6 - Análise estatística da comparação dos pontos de controle

Estatística	Valores (m)
Média dH:	-0.003
Mínimo dH:	-0.057
Máximo dH:	+0.052

A partir das análises demonstradas nas Tabela 5 e Tabela 6 conclui-se que as amostras são precisas, demonstrando que o produto está de acordo com a Classe A do Padrão de Exatidão Cartográfica dos Dados Geoespaciais Digitais (PEC-PCD) para a escala de 1:5.000, conforme preconiza o Edital para o açude Bituri.

#### 11.5. MODELO DIGITAL DO TERRENO E MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

O Modelo Digital do Terreno (MDT) é o modelo de representação espacial de superfície contínua no qual os elementos de pixel da matriz de representação (imagem) representam as alturas (z) do solo livre de qualquer interferência da vegetação e ou edificações sobre o mesmo. Por sua vez, o Modelo Digital de Elevação (MDE) mantém a representação das alturas de todos elementos mapeados (por exemplo: edificações, árvores, entre outros).

Além de permitir o ajustamento e o conhecimento das coordenadas altimétricas dos objetos representados na imagem, o Modelo Digital do Terreno também é utilizado para a geração das curvas de nível, mapas temáticos de hipsometria, declividade e visualização tridimensional do terreno.

No processo fotogramétrico deste projeto, o Modelo Digital do Terreno é extraído automaticamente. Este modelo deve ser editado para corrigir a localização dos pontos tridimensionais, principalmente os pontos que são gerados no telhado das casas, e também os pontos que são gerados nas copas de árvores, no interior de lagos, açudes e rios.

Pode-se observar na Figura 32 que o MDE (também chamado de MDS – Modelo Digital de Superfície) inclui todas as feições sobre o solo (tracejado em azul), e



o MDT (tracejado em vermelho) representa as informações do solo sem a interferência da cobertura vegetal, edificações, entre outras.

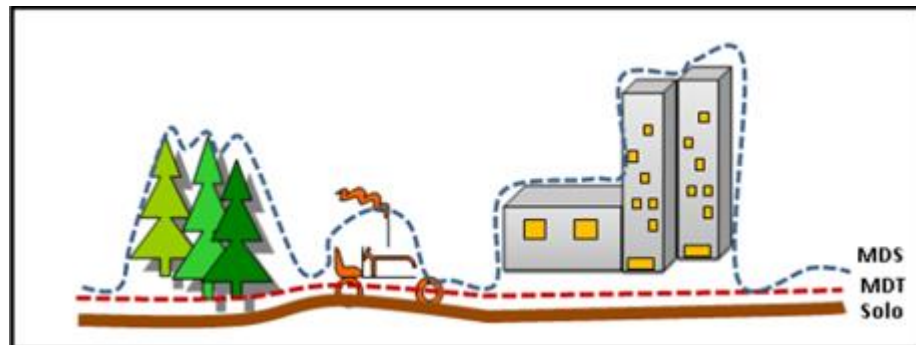


Figura 32 - Tipos de representação digital de superfície

A altitude do terreno (H) está referenciada ao nível médio do mar, sendo obtida a partir de um Modelo Geoidal Local (MGL). Esta, por sua vez, está relacionada ao marégrafo de Imbituba-SC, como referência geográfica do Datum altimétrico oficial brasileiro.

#### 11.5.1. Modelo Digital de Elevação (MDE)

Para a geração do MDE foi necessário realizar a classificação dos dados laser processados. Para tanto, foi utilizado o software INPHO DTMaster, onde os pontos foram classificados de acordo com a altura, formato, textura e reflexão.

O Modelo Digital de Elevação gerado para o açude Bituri, foi realizado a partir da classificação das feições de interesse oriundos dos dados laser (\*.LAS) utilizando-se o software INPHODTMaster. Posteriormente, utilizando o software Global Mapper e os dados do MDE foi gerado uma imagem no formato GEOTIFF.

#### 11.5.2. Modelo Digital de Terreno (MDT)

No software Global Mapper foi realizado uma análise que garantiu que o ponto aplicado na modelagem seja decorrente do último pulso, atendendo o item 7.21.4 do Edital.

O Modelo Digital de Terreno gerado para o açude Bituri, foi realizado a partir da classificação das feições de interesse oriundos dos dados Laser (\*.LAS) utilizando-se os softwares INPHODTMaster e Global Mapper 15.1. Porém, diferentemente do contrário



do MDE, apenas os pontos pertencentes ao solo (superfície sem considerar edificações, vegetação e outros elementos) permaneceram, já que no MDE mantem-se todos os pontos sejam de solo, vegetação e edificações.

Os pontos que não pertencem à classe solo foram excluídos e o MDT foi gerado somente a partir dos pontos que representam a classe solo (*ground*).

#### 11.6. GERAÇÃO DAS CURVAS DE NÍVEL

---

A partir da edição do Modelo Digital do Terreno (MDT) foram geradas as curvas de nível com equidistância de um metro, na escala de 1:5.000, para a área de aproximadamente 8,5 km<sup>2</sup>. Este processamento é realizado através do software SCOPP++ (família INPHO), no qual é inserido o MDT e são geradas as curvas de nível (Figura 33).

Após a geração das curvas de nível foi realizada a edição gráfica no arquivo, de forma a garantir que as curvas descrevessem corretamente a topologia do terreno. Para tal, foi realizada a análise dos elementos representados, suavização das curvas geradas, conexão das curvas descontínuas, eliminação de curvas desnecessárias, e da adequação das mesmas, em relação à hidrografia.

A edição das curvas foi feita visando à eliminação do excesso de pontos (suavização) e resíduos de curvas, de maneira a não interferir no formato das mesmas.

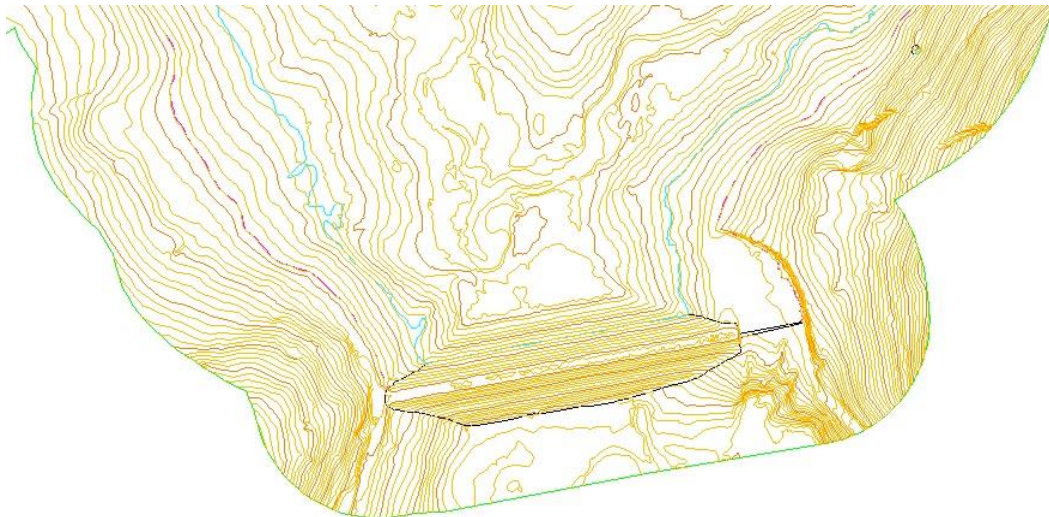


Figura 33 - Amostra das Curvas de Nível geradas para o Açude Bituri



## 12. ELABORAÇÃO DAS CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME (CAV)

---

### 12.1. METODOLOGIA DE ELABORAÇÃO DA CAV UTILIZANDO O SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO - SGB

---

Conforme o item 12.2.1 da Especificação Técnica do Edital, a variação da posição do plano de corte sobre o MDT, para gerar as curvas Cota X Área x Volume do açude Bituri, é de 1cm, desde a cota mínima levantada até a cota cujo valor é 2<sup>15</sup> (dois) metros acima da sua sangria, se possível. Objetivando atender plenamente este item editalício, foi realizada a integração dos dados oriundos do Perfilamento a Laser (porção de interesse referente à parte seca) com os dados batimétricos (porção de interesse referente à parte molhada).

A partir da nuvem de pontos oriunda do Perfilamento a Laser, a qual recobre a porção seca do açude, e a nuvem de pontos obtidos através do levantamento batimétrico, a qual recobre a porção molhada do açude, foi criado um **TIN** (*Triangulated Irregular Network - Rede Triangular Irregular*) com a junção destas duas fontes de dados planialtimétricos. Para evitar problemas na representação espacial dos dados no processamento, foi utilizada ferramenta *Delete Identicals* do software ArcGIS, que comparou a tabela de atributos, buscando localizar os dados (X, Y e Z) idênticos, e eliminando os mesmos que estavam perfeitamente iguais, evitando assim sobreposição de dados.

O TIN consiste em um modelo digital de representação espacial (vetorial) onde a superfície é construída a partir da triangulação de vértices irregulares (x,y) com valores atribuídos (z), neste caso, altitudes ortométricas. O TIN gera a representação espacial do atributo seguindo o critério de triangulação de *Delaunay*, que basicamente visa maximizar o menor ângulo dos triângulos formados, evitando que os mesmos possuam ângulos internos muito pequenos. Este método também permite que os dados de entrada utilizados para gerar o TIN sejam preservados como nós e arestas dos triângulos de representação, possibilitando manter a precisão dos dados de entrada e simultaneamente modelar os valores entre os pontos conhecidos.

O TIN serviu de base para se obter o valor altimétrico mínimo para o açude, indicando até onde será calculada a CAV, considerando o “fundo do reservatório”. Já para o valor máximo utilizado no processamento são considerados 2 metros (se

---

<sup>15</sup> Devido à dificuldade em se obter o limite da CAV em relação aos 2 metros acima da sangria, utilizou-se a ferramenta “Surface difference” do Software ArcGis para delimitar o limite do açude em relação ao processamento.



possível) acima da cota de sangria, conforme solicita o item 12.2.1 da Especificação Técnica.

Para o açude Bituri, os valores utilizados para o processamento dos dados da CAV constam no Quadro 19.

Quadro 19 - Dados altimétricos do açude Bituri considerando o SGB

Cotas	Valores (em metros)
<b>Cota Máxima (Sangria)</b>	643,94
<b>Cota Mínima (TIN)</b>	625,60

Após verificar a consistência dos dados representados através do TIN foi realizada a transformação do formato TIN (vetorial) para formato raster (.tif), conforme solicitado na Especificação Técnica e também devido a limitações computacionais para calcular a CAV baseada com o MDT representado em formato TIN.

Na Figura 34 é apresentado o arquivo matricial/raster em formato TIFF gerado para o processamento da CAV.

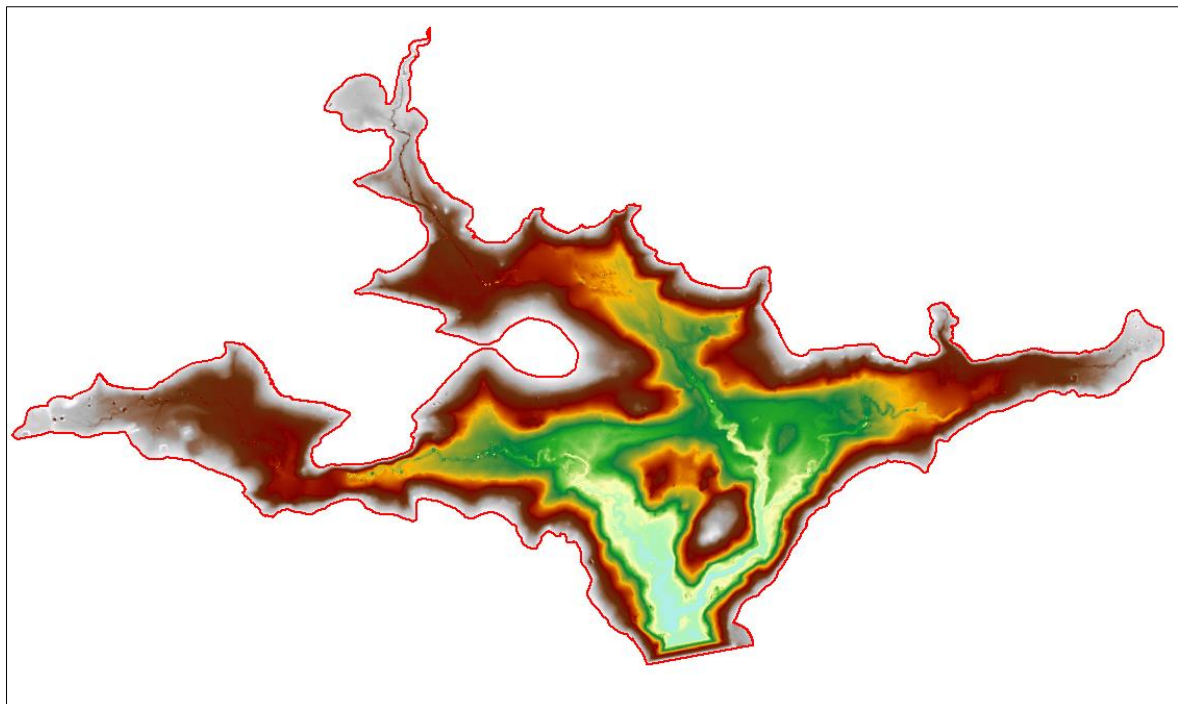


Figura 34 - Imagem (.tif) gerada para o açude Bituri a partir da construção do TIN, para inserir no processamento da CAV



Posteriormente, foi utilizada uma rotina de processamento da CAV utilizando a linguagem ArcPy, disponibilizada para a VisãoGeo pelos técnicos da ANA. O ArcPy é um “pacote de ferramentas do próprio ArcGIS” que permite criar rotinas de processamento dos dados em lote, otimizando tempo de execução das tarefas e evitando erros no processamento dos mesmos. De uma forma geral, trata-se de uma linguagem de programação de alto nível e bastante utilizada em geoprocessamento.

A rotina original foi desenvolvida por Gerry Gabrisch em 2006 e modificada por Gustavo Souto Fontes Moller, Alexandre do Prado e Cláudio Bielenki Júnior, Especialistas em Geoprocessamento da ANA, que permite calcular a CAV baseada na ferramenta *Surface Volume* do ArcGIS, retornando um arquivo em formato .txt com a cota de referência (plano de corte no TIN/MDT) e sua respectiva área e volume associado.

Basicamente, a rotina solicita que o técnico escolha se a determinação dos valores de área e volume do Modelo Digital de Terreno (MDT) ocorrerão acima (ABOVE) ou abaixo (BELOW) do plano de corte. É obrigatório também que o técnico informe os valores mínimo e máximo das cotas de processamento, bem como o passo de variação altimétrica do plano de corte. Conforme consta nas Especificações Técnicas desta contratação, o passo do plano de corte será de 1cm e os valores máximo e mínimo considerados neste procedimento estão presentes no Quadro 19. Na Figura 35 é apresentado um trecho do arquivo de saída deste processamento.





CAVL\_AcudeBituri.txt - Bloco de notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

Dataset;	Plane_Height;	Reference;	Z_Factor;	Area_2D;	Area_3D;	Volume
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	95,20;	below;	1,000000;	2483295,1001992;	2495870,2899568;	16410963,182534
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	95,19;	below;	1,000000;	2480720,8730923;	2493280,7072855;	16386143,347013
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	95,18;	below;	1,000000;	2478159,7786877;	2490704,2619643;	16361349,743708
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	95,17;	below;	1,000000;	2475581,4049947;	2488110,5446336;	16336581,357718
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	95,16;	below;	1,000000;	2472988,2537839;	2485502,0619101;	16311838,098058
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	95,15;	below;	1,000000;	2470404,3708035;	2482902,8582476;	16287120,765192
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	95,14;	below;	1,000000;	2467854,6328585;	2480337,8162277;	16262429,801193
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	95,13;	below;	1,000000;	2465290,4831505;	2477758,3760421;	16237762,817624
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	95,12;	below;	1,000000;	2462811,7484704;	2475264,3616104;	16213123,13385
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	95,11;	below;	1,000000;	2460343,7034502;	2472781,0466436;	16188507,429543
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	95,10;	below;	1,000000;	2457873,2724621;	2470295,3552034;	16163916,062749
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	95,09;	below;	1,000000;	2455441,3913491;	2467848,2286014;	16139350,277144
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	95,08;	below;	1,000000;	2453068,5978027;	2465460,2069903;	16114809,682199
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	95,07;	below;	1,000000;	2450736,3589658;	2463112,761402;	16090291,776055
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	95,06;	below;	1,000000;	2448425,7181904;	2460786,9361999;	16065795,581063
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	95,05;	below;	1,000000;	2446140,6832651;	2458486,7345757;	16041323,480765
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	95,04;	below;	1,000000;	2443877,7129312;	2456208,6167359;	16016873,81367
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	95,03;	below;	1,000000;	2441581,6744051;	2453897,4520752;	15992446,412609
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	95,02;	below;	1,000000;	2439268,2062264;	2451568,8820085;	15968042,960875
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	95,01;	below;	1,000000;	2436957,70324;	2449243,3014868;	15943662,305674
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	95,00;	below;	1,000000;	2434648,6010124;	2446919,1420151;	15919304,343787
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	94,99;	below;	1,000000;	2432338,7583994;	2444594,2646908;	15894969,96826
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	94,98;	below;	1,000000;	2430033,1082054;	2442273,6067898;	15870659,11859
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	94,97;	below;	1,000000;	2427720,2959389;	2439945,8124214;	15846369,96676
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	94,96;	below;	1,000000;	2425394,3580171;	2437604,9239878;	15822103,287633
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	94,95;	below;	1,000000;	2423041,8304498;	2435237,4740021;	15797861,634276
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	94,94;	below;	1,000000;	2420681,5964181;	2432862,3449565;	15773644,059182
,,ocal\MDE_AcudeBituri_Local.tif;	94,93;	below;	1,000000;	2418324,724154;	2430490,60351;	15749449,174204

Figura 35 – Trecho do Arquivo de Saída do Processamento da CAV

Atendendo o item 12.1.3 das Especificações Técnicas do Edital a elaboração das curvas Cota x Área x Volume do açude Bituri, sejam elas atreladas ao Sistema Altimétrico Brasileiro ou o de caráter local, procedeu a partir da importação dos dados extraídos do MDT no software *Microsoft Excel 2016* a cada 1cm.



## 12.2. METODOLOGIA DE ELABORAÇÃO DA CAV UTILIZANDO O SISTEMA DE REFERÊNCIA ALTIMÉTRICO LOCAL (COTA DE SANGRIA DO AÇUDE)

Há uma diferença de 548,74m entre as elevações determinadas para os Apoios Planialtimétricos de 2º Ordem e Complementar com a Referência de Nível Local, que materializa a origem altimétrica da seção de réguas linimétricas presente no barramento do açude Bituri.

Para a obtenção da CAV no sistema arbitrário local, a imagem (.tif) teve seus valores de altimetria reduzidos para aquele sistema altimétrico, ou seja, uma diminuição global de 548,74m em cada pixel. Esta operação foi realizada com a ferramenta *Raster Calculator* do software ArcGIS. Após esta etapa, os procedimentos para gerar as curvas Cota x Área x Volume (CAV) se mantiveram os mesmos que o disposto no item 12.1 deste Relatório Técnico. Conforme consta na Especificação Técnica, o plano de corte será considerado em passo de 1cm e os valores máximo e mínimo considerados estão presentes no Quadro 20 .

Quadro 20 - Dados altimétricos do açude Bituri considerando a cota altimétrica arbitrária local

Cotas	Valores (em metros)
<b>Cota Máxima (Sangria)</b>	95,20
<b>Cota Mínima (TIN)</b>	76,86

## 12.3. RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos com o processamento das curvas Cota x Área x Volume no SGB e no Sistema Altimétrico Local. Na Figura 36 é apresenta a CAV calculada considerando as elevações determinadas para o Apoio Planialtimétrico de 2º Ordem e Complementar, e com base do MGL elaborado, conforme itens 12.2.2 e 12.2.3 das Especificações Técnicas do Edital.



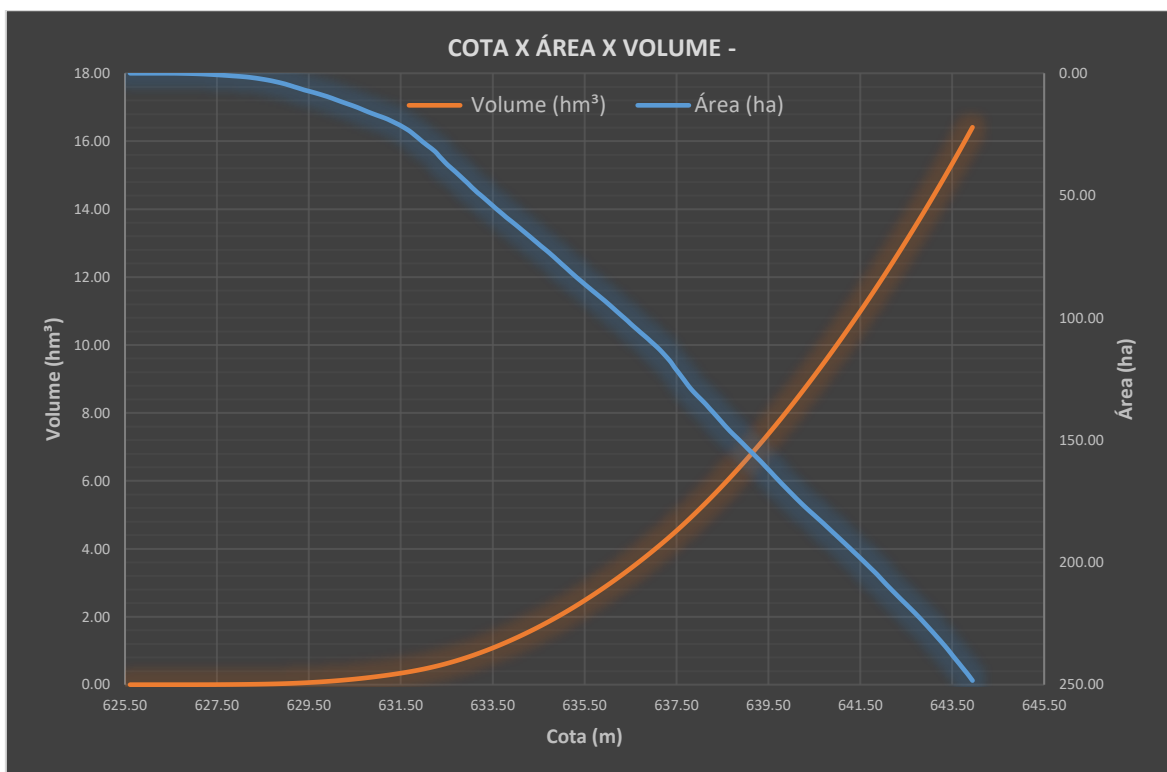


Figura 36 - Gráfico da CAV - SGB

No Anexo I é apresentado os valores da Cota x Área X Volume para o intervalo definido de 625,60 até 643,93m, considerando o SGB.

Na Figura 37 é apresentada a CAV obtida considerando a Referência de Nível Local, conforme itens 12.2.2 e 12.2.3 das Especificações Técnicas do Edital.



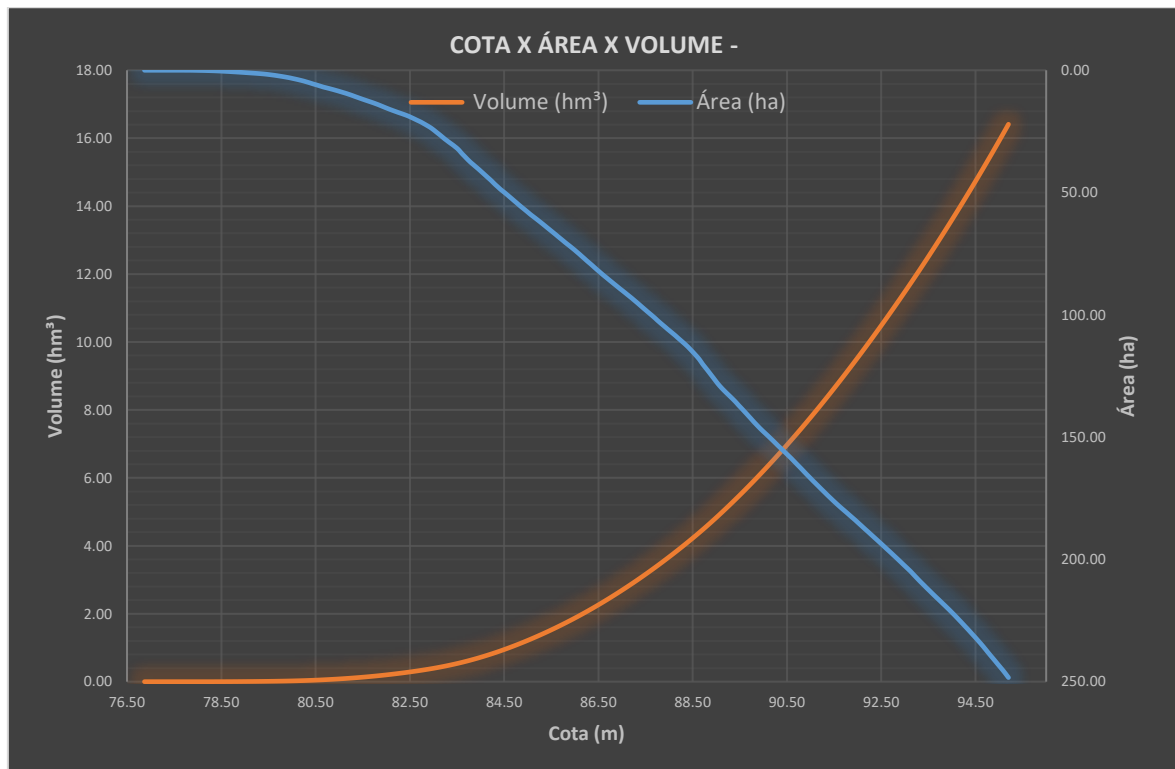


Figura 37 - Gráfico da CAV - Nível altimétrico local


No Anexo II é apresentado os valores da Cota x Área X Volume para o intervalo de 76,86 até 95,20m considerando a cota altimétrica local.

#### 12.3.1. Comparação CAV Local com dados utilizados atualmente pela ANA e Governo do Estado de Pernambuco

Na Figura 38 é apresenta a Ficha Técnica do açude Bituri, utilizada atualmente para a gestão daquele recurso hídrico. Naquele documento as cotas são apresentadas de 1 em 1 metro, entre as cotas de 76,00 e 100,00 metros. Para fins comparativos, fez-se o relacionamento dos dados gerados pelo Consórcio ARV e os constantes na Ficha Técnica, para as mesmas cotas. Tais comparações encontram-se apresentadas no Quadro 21. Cabe lembrar da resolução centimétrica do dado gerado, proporcionando a gestão mais eficiente e precisa do açude Bituri.



Figura 38 - Ficha Técnica vigente do açude Bituri



SECRETARIA  
DE RECURSOS HÍDRICOS  
E ENERGÉTICOS

**GOVERNO DE Pernambuco**

**Ficha técnica com cota volume**

**Segunda, 18 de Agosto de 2014 as 11:28:50 AM**

<b>Código</b> 24	<b>Reservatório</b> ENG. SEVERINO GUERRA	<b>Capacidade Máxima(m³)</b> 17.775.470
<b>Rio</b> Bituri	<b>Bacia Hidrográfica</b> IPOJUCA	
<b>Localidade</b> Belo Jardim	<b>Município</b> BELO JARDIM	
<b>Instituição/Órgão Executor</b> DNOCS		
<b>Tipo de Material</b> TERRA	<b>Área de Drenagem(km²)</b> 68	
<b>Cota Coroa(m)</b> 98,70	<b>Extensão Coroa(m)</b> 354	
<b>Cota Sangradouro(m)</b> 95,20	<b>Extensão Sangradouro(m)</b> 68	
<b>Cota Tomada D'Água(m)</b> 81,20	<b>Diâmetro de Tomada D'Água(mm)</b> 400	
<b>Cota Decarga D'Água(m)</b>	<b>Diâmetro Decarga D'Água(mm)</b>	
<b>Volume Morto(m³)</b>	<b>Ano Construção</b> 1961	<b>Uso do Açude</b> OUTRO USO
<b>Poscul Curva Cota x Área x Volume</b> S	<b>Reservatório Monitorado</b> S	
<b>Instituição de Monitoramento</b> Não Disponível	<b>Número de Ráguas Instaladas</b> 4	
<b>Curva Cota x Área x Volume</b>		
<b>Cota (m)</b>	<b>Área (m²)</b>	<b>Volume (m³)</b>
76,00	0	0,00
77,00	3.100	1.550,00
78,00	6.850	6.525,00
79,00	15.350	17.625,00
80,00	47.200	48.900,00
81,00	79.250	112.125,00
82,00	137.300	220.400,00
83,00	226.600	402.350,00
84,00	375.150	703.225,00
85,00	695.300	1.238.450,00
86,00	813.250	1.992.725,00
87,00	921.750	2.860.225,00
88,00	1.053.850	3.848.525,00
89,00	1.187.900	4.969.900,00
90,00	1.219.250	6.173.475,00
91,00	1.352.800	7.459.500,00
92,00	1.528.000	8.899.900,00
93,00	1.805.000	10.566.400,00
94,00	2.000.500	12.469.150,00
95,00	2.150.000	14.544.400,00
96,00	2.350.500	16.794.650,00
97,00	2.556.600	19.249.200,00
98,00	2.800.950	21.926.975,00
99,00	3.003.750	24.829.325,00
100,00	3.204.500	27.933.450,00



Quadro 21 - Comparação dos valores de área e volume para a CAV local gerada pelo consórcio ARV e a utilizada atualmente pela ANA e Governo de Pernambuco

Cota (m) de comparação	Área – CAV Local (m <sup>2</sup> )	Área – CAV Vigente(m <sup>2</sup> )	Volume – CAV Local (m <sup>3</sup> )	Volume – CAV Vigente (m <sup>3</sup> )
76	-	0,00		0,00
77	0,06	3.100,00	0,00	1.550,00
78	573,89	6.850,00	52,10	6.525,00
79	9.375,63	15.350,00	4.090,47	17.625,00
80	32.863,27	47.200,00	22.672,98	48.900,00
81	85.862,33	79.250,00	81.353,14	112.125,00
82	154.108,30	137.300,00	199.851,10	220.400,00
83	243.157,59	226.600,00	393.052,86	402.350,00
84	411.578,96	375.150,00	717.423,26	703.225,00
85	579.847,41	695.300,00	1.215.011,65	1.238.450,00
86	735.587,09	813.250,00	1.872.378,12	1.992.725,00
87	899.507,38	921.750,00	2.691.489,90	2.860.225,00
88	1.063.537,42	1.053.850,00	3.672.039,25	3.848.525,00
89	1.273.189,60	1.187.900,00	4.830.062,01	4.969.900,00
90	1.477.277,89	1.219.250,00	6.206.049,77	6.173.475,00
91	1.668.164,32	1.352.800,00	7.776.964,29	7.459.500,00
92	1.848.419,59	1.528.000,00	9.538.003,84	8.899.900,00
93	2.026.485,15	1.805.000,00	11.474.619,89	10.566.400,00
94	2.217.117,85	2.000.500,00	13.597.085,88	12.469.150,00
95	2.434.648,60	2.150.000,00	15.919.304,34	14.544.400,00
96	-	2.350.500,00	-	16.794.650,00
97	-	2.556.600,00	-	19.249.200,00
98	-	2.800.950,00	-	21.926.975,00
99	-	3.003.750,00	-	24.829.325,00
100	-	3.204.500,00	-	27.933.450,00

Objetivando realizar a comparação dos valores de **Área** considerando a CAV gerada pelo Consórcio ARV e a CAV atualmente utilizada pela ANA e pelo Governo de Pernambuco, são apresentados no Quadro 22 a diferença dos valores em metros quadrados e porcentagem para cada cota analisada.





Quadro 22 - Diferença comparativa dos valores de área do açude Bituri

Cota (m) de comparação	Área – CAV Local (m <sup>2</sup> )	Área – CAV Vigente(m <sup>2</sup> )	Diferença (m <sup>2</sup> ) <sup>16</sup>	Diferença (%) <sup>17</sup>
76	-	0,00	-	-
77	0,06	3.100,00	-3.099,94	-100,00
78	573,89	6.850,00	-6.276,11	-91,62
79	9.375,63	15.350,00	-5.974,37	-38,92
80	32.863,27	47.200,00	-14.336,73	-30,37
81	85.862,33	79.250,00	6.612,33	8,34
82	154.108,30	137.300,00	16.808,30	12,24
83	243.157,59	226.600,00	16.557,59	7,31
84	411.578,96	375.150,00	36.428,96	9,71
85	579.847,41	695.300,00	-115.452,59	-16,60
86	735.587,09	813.250,00	-77.662,91	-9,55
87	899.507,38	921.750,00	-22.242,62	-2,41
88	1.063.537,42	1.053.850,00	9.687,42	0,92
89	1.273.189,60	1.187.900,00	85.289,60	7,18
90	1.477.277,89	1.219.250,00	258.027,89	21,16
91	1.668.164,32	1.352.800,00	315.364,32	23,31
92	1.848.419,59	1.528.000,00	320.419,59	20,97
93	2.026.485,15	1.805.000,00	221.485,15	12,27
94	2.217.117,85	2.000.500,00	216.617,85	10,83
95	2.434.648,60	2.150.000,00	284.648,60	13,24
96	-	2.350.500,00	-	-
97	-	2.556.600,00	-	-
98	-	2.800.950,00	-	-
99	-	3.003.750,00	-	-
100	-	3.204.500,00	-	-

As maiores diferenças em **Área** relacionadas cotas extremas do açude. Entre as cotas 76,00 e 80,00m observam-se grandes reduções superficiais, enquanto entre as cotas 81,00 e 84,00m observam-se incrementos superficiais da ordem de 10%. A partir da cota 85,00m tem-se um comportamento anômalo, observando-se reduções e aumentos superficiais aleatoriamente.

<sup>16</sup> Cálculo realizado através da fórmula: CAV Local – CAV Vigente

<sup>21</sup> Cálculo realizado cota por cota, através da fórmula:  $\left( \frac{CAV Local - CAV Vigente}{CAV Vigente} \right) * 100$



A grande diferença observada nos valores de **Área** para as cotas extremas deve-se possivelmente ao método de levantamento utilizado na obtenção do dado de referência, não possuindo a mesma qualidade em comparação com os dados produzidos pelo Consórcio ARV (integração de dados laser com dados de batimetria monofeixe e multifeixe).

Objetivando realizar a comparação dos valores de **Volume** considerando a CAV gerada pelo Consórcio ARV e a CAV atualmente utilizada pela ANA e pelo Governo de Pernambuco, é apresentado no Quadro 23 a diferença dos valores em metros cúbicos e porcentagem para cada cota analisada.

Quadro 23 - Diferença comparativa dos valores de volume do açude Bituri

Cota (m) de comparação	Volume – CAV Local (m³)	Volume – CAV Vigente (m³)	Diferença (m³) <sup>18</sup>	Diferença (%) <sup>19</sup>
76	-	0,00	-	-
77	0,00	1.550,00	-1.550,00	-100,00
78	52,10	6.525,00	-6.472,90	-99,20
79	4.090,47	17.625,00	-13.534,53	-76,79
80	22.672,98	48.900,00	-26.227,02	-53,63
81	81.353,14	112.125,00	-30.771,86	-27,44
82	199.851,10	220.400,00	-20.548,90	-9,32
83	393.052,86	402.350,00	-9.297,14	-2,31
84	717.423,26	703.225,00	14.198,26	2,02
85	1.215.011,65	1.238.450,00	-23.438,35	-1,89
86	1.872.378,12	1.992.725,00	-120.346,88	-6,04
87	2.691.489,90	2.860.225,00	-168.735,10	-5,90
88	3.672.039,25	3.848.525,00	-176.485,75	-4,59
89	4.830.062,01	4.969.900,00	-139.837,99	-2,81
90	6.206.049,77	6.173.475,00	32.574,77	0,53
91	7.776.964,29	7.459.500,00	317.464,29	4,26
92	9.538.003,84	8.899.900,00	638.103,84	7,17
93	11.474.619,89	10.566.400,00	908.219,89	8,60
94	13.597.085,88	12.469.150,00	1.127.935,88	9,05
95	15.919.304,34	14.544.400,00	1.374.904,34	9,45
96	-	16.794.650,00	-	-

<sup>18</sup> Cálculo realizado através da fórmula: CAV Local – CAV Vigente

<sup>21</sup> Cálculo realizado cota por cota, através da fórmula:  $\left( \frac{CAV Local - CAV Vigente}{CAV Vigente} \right) * 100$



Cota (m) de comparação	Volume – CAV Local (m³)	Volume – CAV Vigente (m³)	Diferença (m³) <sup>18</sup>	Diferença (%) <sup>19</sup>
97	-	19.249.200,00	-	-
98	-	21.926.975,00	-	-
99	-	24.829.325,00	-	-
100	-	27.933.450,00	-	-

Em relação ao **Volume**, observam-se nas cotas baixas do açude, reduções significativas, sendo que estas diminuem à medida que a cota aumenta, até a cota 82,00m. A partir dessa cota observam-se reduções e incrementos volumétricos no açude, de forma totalmente anômala e aleatória, chegando-se a uma diferença máxima absoluta de 9,45% nas proximidades da cota de sangria.

Ao analisar de forma integrada o Quadro 22 (cota x área) e o Quadro 23 (cota x volume) é possível inferir que as maiores reduções superficiais e volumétricas ocorrem nas cotas baixas do açude (até a cota 80,00m). Para as demais cotas do açude não se observam correlações entre a área superficial e o volume correspondente.



### 13. RELAÇÃO DOS RECURSOS UTILIZADOS

---

#### 13.1. EQUIPAMENTOS

---

Descrição do Recurso	Tipo do Recurso	Atividades
<b>Sede da Empresa VisãoGeo – Florianópolis / SC</b>	Instalação	Planejamento, Gestão do Projeto e Elaboração da CAV
<b>ArcGIS 10.4.1</b>	Softwares	Planejamento, Controle de Qualidade e Elaboração da CAV
<b>GlobalMapper 15</b>	Softwares	Apoio a Atividade de Gestão e Elaboração da CAV
<b>Microsoft Office Excel 2016</b>	Softwares	Construção dos gráficos e consolidação dos dados

#### 13.2. EQUIPE TÉCNICA

---

Engº Marcelo Pereira

Gerente de Projetos

Andressa Ferreira Toledo

Coordenadora de Geoprocessamento

Beatriz da Silva Kuhnen

Técnica em Geoprocessamento

José Guilherme Fronza

Analista Ambiental/Geoprocessamento



## **ANEXO I – COTA X ÁREA X VOLUME NO SGB**

---

Estão no arquivo Relatorio\_Cav\_Acude\_Bituri\_Anexo\_I



## **ANEXO II – COTA X ÁREA X VOLUME NO REFERENCIAL ALTIMÉTRICO LOCAL**

---

Estão no arquivo Relatorio\_Cav\_Acude\_Bituri\_AnexoII

