



**Relatório de Elaboração da CAV**

## **ANA CAV - Açudes**



CONTRATO N°	EMITIDO POR:	VERSÃO - DATA
N° 006/2017/ANA	MARCELO PEREIRA	1.0 - 30/11/2017
LOTE 01 - AÇUDE SANTA INÊS		



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, 30 de novembro de 2017.

## SUMÁRIO

---

<b>1. PERÍODO DE EXECUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2. OBJETO .....</b>	<b>7</b>
<b>3. FINALIDADE .....</b>	<b>7</b>
<b>4. LOCALIZAÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>5. DEFINIÇÕES.....</b>	<b>8</b>
5.1. LEVANTAMENTO PLANIMÉTRICO .....	10
5.2. LEVANTAMENTO ALTIMÉTRICO .....	11
<b>6. SISTEMA DE REFERÊNCIA GEODÉSICO.....</b>	<b>12</b>
<b>7. REDES DE APOIO BÁSICO E COMPLEMENTAR.....</b>	<b>12</b>
7.1. DESENVOLVIMENTO DOS SERVIÇOS GEODÉSICOS .....	15
7.2. QUANTITATIVOS .....	16
7.3. POSICIONAMENTO GNSS .....	16
7.3.1. Metodologia .....	16
7.3.2. Processamento e Análise dos Resultados .....	18
7.4. NIVELAMENTO GEOMÉTRICO.....	23
7.4.1. Metodologia .....	23
7.4.2. Linhas de Nivelamento Geométrico e Análise dos Resultados.....	25
7.4.3. Correlação de Cotas – Sistema Geodésico Brasileiro x Cota no Referencial Local	29
<b>8. ONDULAÇÃO GEOIDAL .....</b>	<b>30</b>
<b>9. REDE DE APOIO SUPLEMENTAR .....</b>	<b>32</b>
9.1. QUANTITATIVOS .....	32
9.2. POSICIONAMENTO GNSS.....	32
9.2.1. Metodologia .....	32
9.2.2. Processamento e Análise dos Resultados .....	35
<b>10. LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO.....</b>	<b>39</b>
10.1. METODOLOGIA.....	39
10.1.1. Levantamento Batimétrico Monofeixe .....	40
10.1.1. Sensor e Perfilador de Velocidade de Som.....	42
10.1.2. Amarração Altimétrica .....	43
10.2. LEVANTAMENTO DA ÁREA MOLHADA .....	44
10.2.1. Desenvolvimento dos Serviços.....	44

10.2.2.	Monitoramento do Nível D'água. ....	46
10.2.3.	Processamento dos Dados Batimétricos .....	48
10.2.4.	Aquisição e Processamento dos Dados Batimétricos .....	48
10.2.5.	Processamento dos Dados de Nível.....	49
10.2.6.	Redução da Profundidade a Cota ortométrica .....	50
10.3.	RESULTADOS E ANÁLISES.....	51
10.4.	CONTROLE DE QUALIDADE .....	54
<b>11.</b>	<b>PERFILAMENTO LASER.....</b>	<b>66</b>
11.1.	DETALHES TÉCNICOS DA EXECUÇÃO.....	66
11.2.	TIPO, MODELO E CARACTERÍSTICAS DO PERFILADOR A LASER.....	71
11.3.	NUVEM DE PONTOS.....	71
11.4.	CONTROLE DE QUALIDADE DA NUVEM DE PONTOS .....	71
11.5.	MODELO DIGITAL DO TERRENO E MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO.....	72
11.5.1.	Modelo Digital de Elevação (MDE) .....	73
11.5.2.	Modelo Digital de Terreno (MDT) .....	74
11.6.	GERAÇÃO DAS CURVAS DE NÍVEL .....	74
<b>12.</b>	<b>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) .....	79
12.3.	RESULTADOS .....	80
12.3.1.	Comparação CAV Local com dados utilizados atualmente pela ANA e pelo Governo do Estado da Paraíba.....	81
<b>13.</b>	<b>RELAÇÃO DOS RECURSOS UTILIZADOS.....</b>	<b>87</b>
13.1.	EQUIPAMENTOS .....	87
13.2.	EQUIPE TÉCNICA .....	87
<b>ANEXO I – COTA X ÁREA X VOLUME NO SGB.....</b>		<b>88</b>
<b>ANEXO II – COTA X ÁREA X VOLUME NO REFERENCIAL ALTIMÉTRICO LOCAL.....</b>		<b>89</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Açude Santa Inês.....	8
Figura 2 - Rede de Apoio de 2º Ordem e Complementar .....	14
Figura 3 - Rede de Apoio Básico Planialtimétrico de 2º Ordem .....	18
Figura 4 - Rede de Apoio Básico Planialtimétrico de 2º Ordem Complementar .....	19
Figura 5 - Nivelamento Geométrico pelo Método das Visadas Equidistantes.....	23
Figura 6 - Referência de Nível do posto de réguas do barramento do açude Santa Inês .....	29
Figura 7 - Esquema ilustrando a incidência e reflexão da onda acústica no leito de um corpo aquático .....	40
Figura 8 - Componentes de um ecobatímetro monofeixe .....	41
Figura 9 - Mapeamento de um leito irregular.....	41
Figura 10 - Utilização de um feixe direcionado em um fundo irregular .....	42
Figura 11 - (A) Perfilador de velocidade do som modelo Teledyne Odom Digibar S (B) Perfil de velocidade do som que é inserido no software. ....	43
Figura 12 - Linhas batimétricas do açude Santa Inês.....	45
Figura 13 - Linhas de controle de qualidade executadas no Açude Santa Inês .....	46
Figura 14 - Régua Linimétrica utilizada no monitoramento de nível do Açude Santa Inês. ....	47
Figura 15 - Trecho da Tabela de Variação de nível de água na régua linimétrica do barramento do Açude Santa Inês.....	48
Figura 16 - Inserção da Referência Altimétrica e da Compensação Atmosférica.....	49
Figura 17 - 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. ....	50
Figura 18 - Gráfico da variação de nível no barramento do açude Santa Inês .....	51
Figura 19 - Grid de pontos batimétricos.....	53
Figura 20 - Pontos de conferência utilizados para análise do modelo .....	55
Figura 21 - Modelo de avaliação espacial do controle de qualidade.....	57
Figura 22 - Cobertura do Perfilamento a Laser .....	67
Figura 23 - Controle de Qualidade do Perfilamento a Laser junto ao HV-001 .....	68
Figura 24 - Plano de Voo gráfico para realizar o Perfilamento a Laser .....	70
Figura 25 - Tipos de representação digital de superfície.....	73
Figura 26 - Amostra das Curvas de Nível geradas para o Açude Santa Inês.....	75



Figura 28 - Imagem (.tif) gerada para o açude Santa Inês a partir da construção do TIN, para inserir no processamento da CAV .....	77
Figura 29 - Trecho do Arquivo de Saída do Processamento da CAV .....	79
Figura 30 - Gráfico da CAV – SGB.....	81
Figura 31 - Gráfico da CAV – Nível altimétrico local.....	81
Figura 32 - Ficha Técnica vigente do açude Santa Inês.....	82

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatística das diferenças da batimetria originária.....	51
Tabela 2 - Estatística das diferenças das Linhas de Verificação .....	54
Tabela 3 - Análise dos Pontos de Conferência.....	58
Tabela 4 - Comparação entre pontos de verificação com valores do MDT .....	71
Tabela 5 - Análise estatística da comparação dos pontos de controle.....	72



## 1. PERÍODO DE EXECUÇÃO

---

As atividades descritas neste relatório foram executadas entre os dias 18/06/2017 e 30/11/2017.

## 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 Santa Inês. 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 Santa Inês (área aproximada de 6 km<sup>2</sup>), está localizado no município de Santa Inês, Estado da Paraíba. 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).



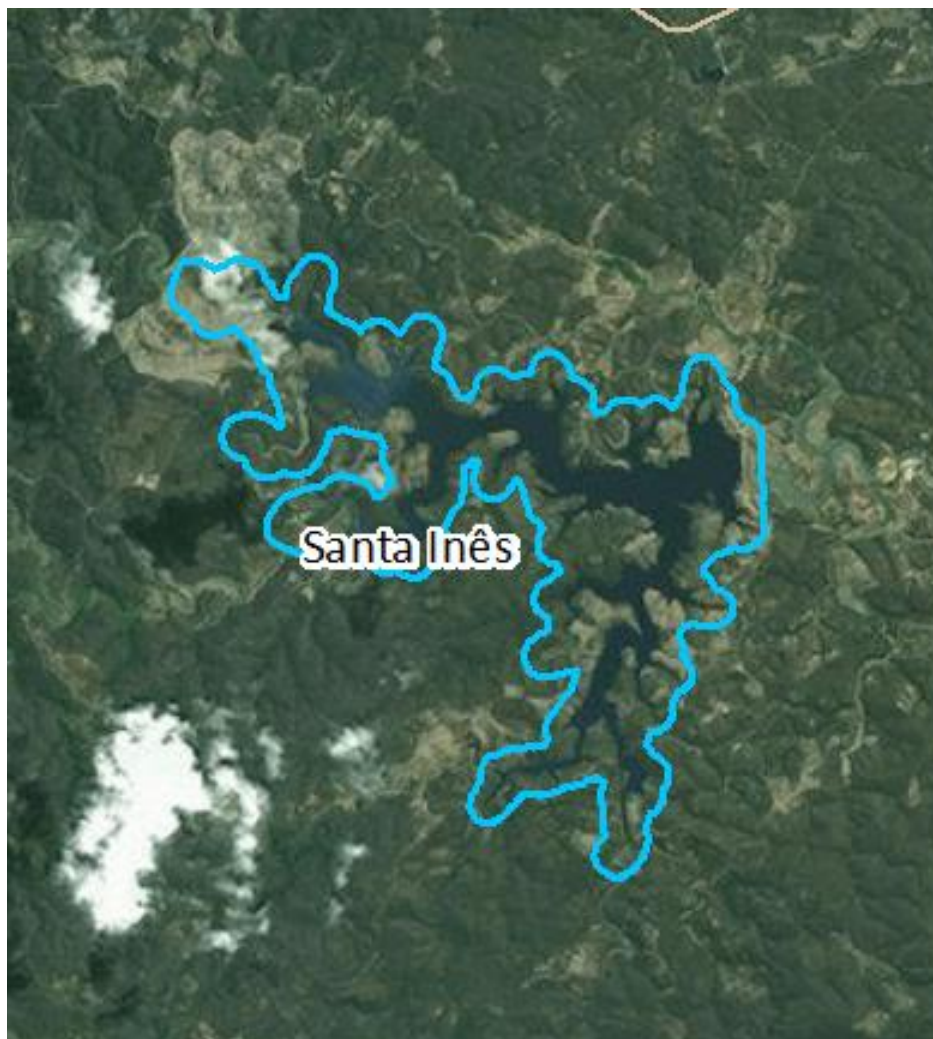


Figura 1 - Açude Santa Inês

## 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: de 2º Ordem, Complementar, Suplementar, Ondulação Geoidal e Pontos de Controle. O

---

<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).





Apoio Geodésico de 2º Ordem refere-se exclusivamente na implantação de uma Rede de Referência Planialtimétrica para esses açudes. O Apoio Geodésico Suplementar está baseado 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). A quarta atividade compreende a confecção propriamente dita do MGL (com base no comportamento da ondulação geoidal local), e a última consiste na determinação de coordenadas de pontos distribuídos ao longo das faixas de voo (dentro da área do açude) e serviram para atestar a qualidade técnica dos produtos gerados.

O Apoio Geodésico consistiu na implantação de vértices para caracterizar o Apoio Geodésico Planimétrico e Altimétrico de 2º Ordem, utilizados nos demais levantamentos Geodésicos e Cartográficos realizados. Esses pontos formaram uma Rede de Referência Planialtimétrica conjunta para o açude Santa Inês. Esses, por sua vez, foram materializados em campo por marcos de concreto, tendo suas coordenadas planialtimétricas obtidas a partir do Apoio Geodésico Planialtimétrico de 1º Ordem do IBGE.

Também foram implantados outros marcos de concreto para densificar a Rede de Apoio Geodésico Básico e auxiliar na elaboração do Modelo Geoidal Local – MGL. Neste relatório, essa densificação foi denominada como Apoio Básico Complementar, cujas coordenadas planimétricas foram obtidas utilizando-se receptores GNSS geodésicos, com origem no Apoio Básico Geodésico Planimétrico e Altimétrico de 2ª Ordem.

O Apoio Geodésico Suplementar consiste na determinação de coordenadas planialtimétricas de pontos distribuídos no início, final e ligação das faixas de voo. 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 Geodésico Suplementar está baseado nos levantamentos com receptores GNSS geodésicos e amarrados aos vértices dos Apoios Geodésicos Básico.

Ondulação Geoidal está baseado nos levantamentos com receptores GNSS geodésicos sobre os vértices do Apoio Básico e Complementar, 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 de Controle está baseado nos levantamentos com receptores GNSS geodésicos e amarrados aos vértices dos Apoios Geodésicos Básico Planialtimétrico de 2ª Ordem e Complementar. Os Pontos de Controle não entraram no processo da Aerotriangulação, pois servirão para atestar a qualidade dos produtos finais 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 geodeticamente, 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 Complementar 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 2º Ordem, com a finalidade de servir complementarmente 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 Complementar o conjunto de pontos materializados no terreno, com altitudes obtidas a partir de pontos do Apoio Geodésico Altimétrico de 2º 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 diferença 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 E COMPLEMENTAR**

---

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.

A Rede de Apoio Básico Planialtimétrico Complementar 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. A origem dos



levantamentos são os marcos da poligonal principal implantados para materializar a Rede de Apoio Básico Planimétrico de 2º 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 Santa Inês.

---

<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.





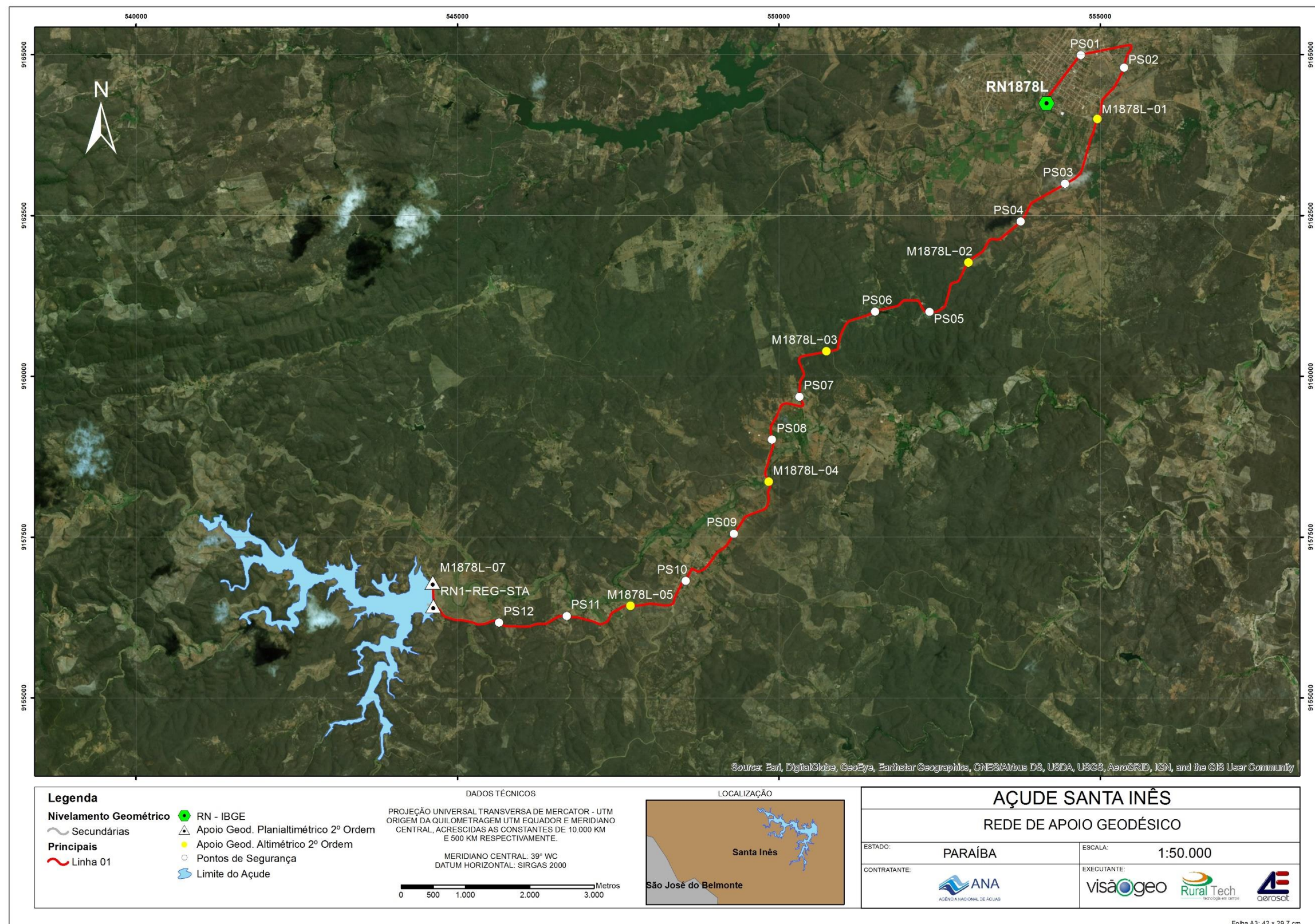


Figura 2 - Rede de Apoio de 2º Ordem e Complementar

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 Princesa Isabel - PB, no dia 18 de junho 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 RN's 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 e da Rede Complementar. Posteriormente, foi realizada a implantação dos demais marcos programados para compor as Redes do Apoio Básico de 2º Ordem e de Apoio Básico Complementar.

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 e Complementar, 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, e por no mínimo 2 (duas) horas de rastreamento para os marcos da Rede do Apoio Básico Planialtimétrico Complementar.



## 7.2. QUANTITATIVOS

No Quadro 1 são listados os quantitativos de todos os produtos e insumos gerados durante os levantamentos topográficos e geodésicos executados no açude Santa Inês para implantação da Rede de Apoio Básico Planialtimétrico de 2º Ordem, Rede de Apoio Básico Complementar e Rede de Apoio Básico Altimétrico de 2º Ordem.

Quadro 1 - Quantitativos dos Serviços Executados no Apoio Básico e Complementar

RESUMO DOS QUANTITATIVOS DOS SERVIÇOS TOPOGRÁFICOS E GEODÉSICOS REALIZADOS NA REGIÃO DOS AÇUDE SANTA INÊS - APOIO BÁSICO E COMPLEMENTAR			
Descrição	Un.	Quantidade	
Nivelamento Geométrico de Precisão	Km	19,59	
Posicionamento GNSS	Un.	3	4hs
	Un.	1	2hs
	Un.	5	Navegação
Elaboração de Monografias	Un.	9	

## 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 e Complementar 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 e superior à 2 (duas) horas para os marcos da Rede de





Apoio Planialtimétrico Complementar. 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 nas proximidades 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 em vértices do IBGE, do tipo SAT, marcos de códigos 92358 e 96510, cujas as monografias estão apresentadas no Anexo VII do relatório de Apoio Geodésico de Campo. Nessa poligonal foram formadas 5 (cinco) 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 centimétrica.



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

Para a materialização da Rede de Apoio Básico Planialtimétrico Complementar os marcos foram mensurados a partir da Rede de Apoio Básico Planialtimétrico de 2º Ordem, preferencialmente com origem no vértice mais próximo ao marco, tendo como limite a distância máxima de 25 quilômetros e ocupação mínima de 2 (duas) horas. 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 centimétrica.





Figura 4 - Rede de Apoio Básico Planialtimétrico de 2º Ordem Complementar

Nos Quadro 2, 3, 4 e 5 são apresentadas para a Rede de Apoio Básico Planialtimétrico de 2º Ordem e para a Rede de Apoio Básico Planialtimétrico Complementar, 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)
M1878L-07–RN1-REG-STA	06:00:14	Fixed	1,500	20,000	15,000	0,001	0,000	0,001	367,563
M1878L-07–RN1878L	04:55:39	Fixed,Iono Free	1,706	17,000	13,000	0,008	0,004	0,008	12.119,758
M1878L-07–SAT92358	04:05:10	Fixed,Wide Lane	1,588	16,000	10,000	0,032	0,016	0,028	46.178,084
RN1-REG-STA–RN1878L	04:55:39	Fixed,Iono Free	1,702	17,000	13,000	0,009	0,004	0,008	12.339,767
RN1878L–SAT96510	04:07:50	Fixed,Wide Lane	1,735	16,000	12,000	0,031	0,013	0,028	45.778,116

Quadro 3 - Memória de Cálculo – GNSS – Apoio Básico Planialtimétrico 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
M1878L-07	7°37'41,32257"S	38°35'43,70251"W	9.156.790,005	544.618,376	433,561	0,014	0,015	0,022	None
RN1–REG–STA	7°37'53,27980"S	38°35'43,30212"W	9.156.422,799	544.630,300	433,607	0,014	0,015	0,022	None
RN1878L	7°33'38,47016"S	38°30'32,14088"W	9.164.237,922	554.172,728	368,686	0,014	0,015	0,022	None
SAT92358	7°41'30,19780"S	39°00'32,75850"W	9.149.782,540	498.996,494	436,396	0,002	0,002	0,016	Both
SAT96510	7°21'13,82150"S	38°08'59,02360"W	9.187.045,996	593.844,162	313,073	0,002	0,002	0,009	Both

Quadro 4 - Memória de Cálculo - GNSS - Apoio Básico Planimétrico de 2ª Ordem Complementar - Vetores

Name	Duration	Solution Type	PDOP	GPS Satellites	GLONASS Satellites	RMS	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)	Distance (m)
RN1-REG-STA-RN2-REG-STA	02:04:13	Fixed	1,725	14	10	0,001	0,000	0,001	21,960

Quadro 5 - Memória de Cálculo - GNSS - Apoio Básico Planialtimétrico de 2ª Ordem Complementar - 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
RN1-REG-STA	7°37'53,27980"S	38°35'43,30212"W	9.156.422,799	544.630,300	433,607	0,014	0,015	0,022	Both
RN2-REG-STA	7°37'53,96142"S	38°35'43,51729"W	9.156.401,873	544.623,688	434,036	0,014	0,015	0,022	None

Observando os resultados presentes nos Quadro 2, 3, 4 e 5 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 1,8, 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 16 (dezesseis) em relação a constelação GPS e 10 (dez) da constelação GLONASS, totalizando no mínimo 36 (trinta e seis) satélites naquele período, correspondendo 6 (seis) 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 km para a Rede de Apoio Geodésico Planialtimétrico de 2º Ordem, com um tempo de observação sempre superior a 4 (quatro) horas, enquanto para a Rede de Apoio Geodésico Planialtimétrico Complementar o comprimento máximo das linhas de base formadas foi de 25 km, com tempo de ocupação sempre superior a 2 (duas) horas.

Além disso, observando o tipo de solução obtida nota-se que todos os vetores tiveram a solução com ambiguidades resolvidas, apresentando: 2 (duas) soluções do tipo Fixa (Fixed), nenhuma solução do tipo Fixa-L1 (Fixed, L1), 2 (duas) soluções do tipo Fixa-Banda Larga (Fixed, Wide Lane) e 2 (duas) 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-L1 são aquelas que usam as medidas de fase da portadora L1 com ambiguidades resolvidas recomendadas para as linhas de base menores 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, de Apoio Básico Planialtimétrico Complementar 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.

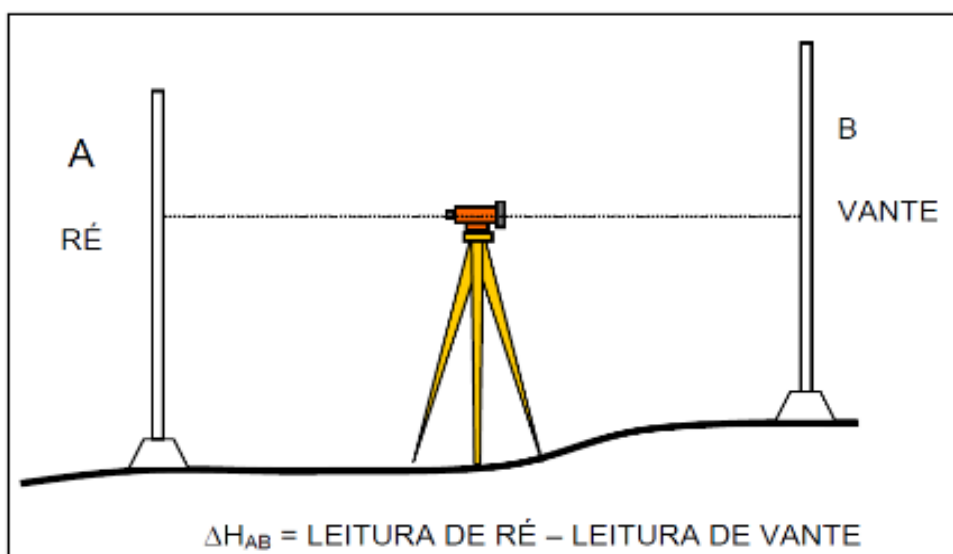


Figura 5 - Nivelamento Geométrico pelo Método das Visadas Equidistantes

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 vento;
- 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 8.24 das Especificações Técnicas do Edital, na configuração original é previsto a execução de 1 (uma) linha principal de nivelamento geométrico, são elas:

Linha 01 – 8.24.1. Criar uma nova linha de nivelamento geométrico, partindo-se de uma RN da linha 1878 (provavelmente 1878L), segue-se ao longo da rodovia PB-361, até a área urbana do município de Santa Inês (PB) da onde se segue por uma estrada vicinal até o barramento do referido corpo hídrico, sobre o qual se deve materializar uma nova RN.

Porém, devido a necessidade de se efetuar a amarração altimétrica das réguas linimétricas a serem empenhadas no apoio à batimetria, foi executada 1 (uma) linha principal e outras 2 (duas) linhas secundárias conforme descritas no Quadro 6.

Quadro 6 - Linhas de Nivelamento Geométrico<sup>3</sup>

Linha	Descrição	Edital
<b>Linha 01</b>	Com 19,395 Km de extensão parte do RN1878L até o barramento do açude Santa Inês.	8.24.1
<b>Linha 01-A</b>	Com 0,176 Km de extensão parte do RN01 do posto de réguas do barramento do açude Santa Inês até a régua 83 do referido posto.	-
<b>Linha 01-B</b>	Com 0,020 km de extensão parte do RN01 do posto de réguas do barramento do açude Santa Inês até o RN02 do referido posto.	-

A seguir apresenta-se os memoriais de cálculo da linha principal e secundária. Para as linhas abertas não é realizada a análise do erro de fechamento,

<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.



sendo executado apenas a consistência entre os procedimentos de nivelamento e contranivelamento.



## Linha 01 – Partindo do RN1878L até o posto de réguas do barramento do açude Santa Inês

No Quadro 7 apresenta-se a memória de cálculo do nivelamento geométrico da Linha 01.

Quadro 7 - Memória de Cálculo – Linha 01 – Partindo do Rn1878L até o Posto de Réguas do Barramento do Açude Santa Inês.

De	Para	Diferença de Nível Nivelamento (m)	Diferença de Nível Contra niv. (m)	Diferença (m)	Ponto	Cota Média (m)	Cota (m)		Distância (m)			Cota Corrigida (m)
							Nivelamento	Contranivelamento	Nivelamento	Contra niv.	Diferença	
					<b>RN1878L</b>	<b>377,7170</b>						
RN1878L	OS01	12,9719	12,9717	<b>0,0002</b>	<b>OS01</b>	<b>390,6888</b>	<b>390,6889</b>	<b>390,6887</b>	1035,9376	1041,5247	-5,5871	12,9719
OS01	OS02	-5,6937	-5,6935	<b>-0,0002</b>	<b>OS02</b>	<b>384,9952</b>	<b>384,9951</b>	<b>384,9953</b>	1037,4442	1037,6395	-0,1953	-5,6937
OS02	M1878L-01	-7,9768	-7,9762	<b>-0,0006</b>	<b>M1878L-01</b>	<b>377,0187</b>	<b>377,0184</b>	<b>377,0190</b>	1065,4714	1062,9875	2,4839	-7,9768
M1878L-01	OS03	6,5165	6,5166	<b>-0,0001</b>	<b>OS03</b>	<b>383,5353</b>	<b>383,5353</b>	<b>383,5353</b>	1167,7750	1164,2968	3,4782	6,5165
OS03	OS04	20,2134	20,2132	<b>0,0002</b>	<b>OS04</b>	<b>403,7486</b>	<b>403,7487</b>	<b>403,7485</b>	938,8378	936,2551	2,5827	20,2134
OS04	M1878L-02	23,1507	23,1497	<b>0,0010</b>	<b>M1878L-02</b>	<b>426,8988</b>	<b>426,8993</b>	<b>426,8983</b>	1102,5990	1093,3338	9,2652	23,1507
M1878L-02	OS05	41,1300	41,1291	<b>0,0009</b>	<b>OS05</b>	<b>468,0283</b>	<b>468,0288</b>	<b>468,0279</b>	1092,8879	1091,3329	1,5550	41,1300
OS05	OS06	-26,9636	-26,9633	<b>-0,0003</b>	<b>OS06</b>	<b>441,0649</b>	<b>441,0647</b>	<b>441,0650</b>	983,9857	980,4790	3,5068	-26,9636
OS06	M1878L-03	32,8940	32,8937	<b>0,0003</b>	<b>M1878L-03</b>	<b>473,9588</b>	<b>473,9589</b>	<b>473,9586</b>	1094,5763	1091,8082	2,7681	32,8940
M1878L-03	OS07	-68,6844	-68,6828	<b>-0,0016</b>	<b>OS07</b>	<b>405,2751</b>	<b>405,2743</b>	<b>405,2759</b>	1081,2208	1078,2691	2,9517	-68,6844
OS07	OS08	-4,0942	-4,0937	<b>-0,0004</b>	<b>OS08</b>	<b>401,1812</b>	<b>401,1810</b>	<b>401,1814</b>	1058,2367	1060,3611	-2,1245	-4,0942
OS08	M1878L-04	1,5169	1,5174	<b>-0,0005</b>	<b>M1878L-04</b>	<b>402,6983</b>	<b>402,6981</b>	<b>402,6986</b>	691,0234	688,2693	2,7540	1,5169
M1878L-04	OS09	8,6459	8,6459	<b>0,0000</b>	<b>OS09</b>	<b>411,3443</b>	<b>411,3443</b>	<b>411,3443</b>	1093,8117	1094,3367	-0,5250	8,6459
OS09	OS10	7,0377	7,0371	<b>0,0006</b>	<b>OS10</b>	<b>418,3817</b>	<b>418,3820</b>	<b>418,3814</b>	1128,9812	1129,6016	-0,6204	7,0377
OS10	M1878L-05	-9,5160	-9,5151	<b>-0,0009</b>	<b>M1878L-05</b>	<b>408,8661</b>	<b>408,8657</b>	<b>408,8666</b>	1123,2680	1116,8983	6,3697	-9,5160
M1878L-05	OS11	0,8775	0,8774	<b>0,0001</b>	<b>OS11</b>	<b>409,7436</b>	<b>409,7436</b>	<b>409,7435</b>	1120,5047	1120,0429	0,4618	0,8775
OS11	OS12	6,4881	6,4876	<b>0,0005</b>	<b>OS12</b>	<b>416,2314</b>	<b>416,2317</b>	<b>416,2312</b>	1103,4659	1104,2888	-0,8229	6,4881
OS12	RN01-REG-STA	26,5081	26,5083	<b>-0,0002</b>	<b>RN01-REG-STA</b>	<b>442,7397</b>	<b>442,7395</b>	<b>442,7398</b>	1121,4712	1123,9914	-2,5202	26,5081
RN01-REG-STA	M1878L-07	-0,0431	-0,0432	<b>0,0001</b>	<b>M1878L-07</b>	<b>442,6965</b>	<b>442,6966</b>	<b>442,6965</b>	367,1906	367,0425	0,1481	-0,0431
Erro absoluto (m)				<b>0,0007</b>					<b>15881,00</b>	<b>15938,06</b>	-57,06	
Erro absoluto aceito (m)				<b>0,0120</b>	<b>Tolerância</b>	<b>3,0000</b>	mm/Km	Formula: (√Km_Nivelado)*Tolerância				

Linha 01-A – Partindo do RN01 do posto de réguas do açude Santa Inês até a régua 83 do referido posto.

No Quadro 8 apresenta-se a memória de cálculo do nivelamento geométrico da Linha 01-A.

Quadro 8 - Memória de Cálculo – Linha 01-A – Partindo do RN01-REG-STA do Posto de Réguas do Barramento do Açude Santa Inês Até a Régua 83 do Referido Posto.

De	Para	Diferença de nível de Nivelamento (m)	DN Contra niv. (m)	Erro (m)	Ponto	Cota Média	Cota (m)		Distância (m)		
							Nivelamento	Contra niv.	Nivelamento	Contra niv.	Diferença
					<b>RN01-REG-STA</b>	<b>442,739659</b>					
RN01-REG-STA	NA	-20,3464	-20,3466	<b>0,0002</b>	<b>NA</b>	<b>422,3932</b>	<b>422,3933</b>	<b>422,3931</b>	157,1053	157,3685	-0,2632
NA	RÉGUA83-CR	0,1058	0,1059	<b>-0,0001</b>	<b>RÉGUA83-CR</b>	<b>422,4991</b>	<b>422,4990</b>	<b>422,4991</b>	19,5114	19,0639	0,4475
Erro absoluto (m)				<b>-0,0040</b>					<b>5497,89</b>	<b>5526,37</b>	-28,48
Erro absoluto aceito (m)				<b>0,0070</b>	<b>Tolerância</b>	<b>3,0000</b>	mm/Km	Formula: ( $\sqrt{\text{Km\_Nivelado}}$ )*Tolerância			

Linha 01-B – Partindo do RN01 do posto de réguas do açude Santa Inês até o RN02 do referido posto.

No Quadro 9 apresenta-se a memória de cálculo do nivelamento geométrico da Linha 01-B.

Quadro 9 - Memória de Cálculo – Linha 01-B – Partindo do RN01-REG-STA do Posto de Réguas do Barramento do Açude Santa Inês até o RN02 do Referido Posto.

De	Para	Diferença de nível de Nivelamento (m)	DN Contra niv. (m)	Erro (m)	Ponto	Cota Média	Cota (m)		Distância (m)		
							Nivelamento	Contra niv.	Nivelamento	Contra niv.	Diferença
					<b>RN01-REG-STA</b>	<b>442,739659</b>					
RN01-REG-STA	RN02-REG-STA	0,4298	0,4301	<b>-0,0003</b>	<b>RN02-REG-STA</b>	<b>443,1696</b>	<b>443,1695</b>	<b>443,1698</b>	22,7669	23,0734	-0,3065
Erro absoluto (m)				<b>-0,0003</b>					<b>22,77</b>	<b>23,07</b>	-0,31
Erro absoluto aceito (m)				<b>0,0005</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 no Referencial Local

Para efeito de registro deve-se destacar que há uma diferença de 339,487m entre as elevações determinadas para ao Apoios Básico Planialtimétrico de 2º Ordem e Complementar e a Referência de Nível Local, que materializa a origem altimétrica da seção de réguas linimétricas presente no barramento do açude Santa Inês.

O marco RN-01 do posto de réguas do barramento do açude Santa Inês possui cota local (Arbitrária) igual a 103,252 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 442,739 m, conforme apresentado no Quadro 10.



Figura 6 - Referência de Nível do posto de réguas do barramento do açude Santa Inês



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

Cota (m) - Sistema Geodésico Brasileiro	Cota (m) - Referência Local	Diferença (m)
442,739	103,252	339,487

## 8. ONDULAÇÃO GEOIDAL

Para atender o preconizado no item 8.24 das Especificações Técnicas do Edital, a Ondulação Geoidal do Açude Santa Inês foi determinada a partir de um ponto da Referência de Nível (RRNN) materializado sobre seu barramento, pertencente ao Apoios Básico Altimétrico de 2º Ordem e Complementar, apresentada no Quadro 11 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 11 - Levantamento Planialtimétrico – Ondulação Geoidal Açude Santa Inês

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)
RN1–REG–STA	7°37'53,27980"S	38°35'43,30212"W	9156423	544630,3	433,607	442,7397	-9,133	0,014	0,015	0,022

---

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

## 9. REDE DE APOIO SUPLEMENTAR

### 9.1. QUANTITATIVOS

A seguir, no Quadro 12 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 o açude Santa Inês, 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 12 - Quantitativos dos Serviços Executados no Apoio Suplementar

RESUMO DOS QUANTITATIVOS DOS SERVIÇOS TOPOGRÁFICOS E GEODÉSICOS REALIZADOS NA REGIÃO DO AÇUDE SANTA INÊS APOIO SUPLEMENTAR			
Descrição	Un.	Quantidade	
Posicionamento GNSS - Apoio Suplementar e Pontos de Controle	Un.	11 - HV	20 - 30 min
	Un.	05 - PC	20 - 30 min
Elaboração de Monografias	Un.	16	

### 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 utilizaram o marco RN1-REG-STA pertencente ao Apoio Geodésico Planialtimétrico de 2º Ordem e o marco RN2 - REG - STA pertencente ao Apoio Geodésico Planimétrico Complementar.

O equipamento usado para a coleta destes pontos foram os receptores de dupla frequência L1/L2 Leica System 500, Topcon Hiper, Triumph-1(Javad), taxa de coleta de 5 segundos e máscara de elevação de 15º. O tempo de rastreo para os pontos do Apoio Suplementar e dos Pontos de Controle foi entre 20 e 30 minutos.

De acordo com as normas editalícias desta contratação, identificamos que o critério de observação mínima de 30 minutos não foi respeitado para os pontos de Apoio Suplementar e Pontos de Controle, devido a uma falha de repasse de informações para as equipes de campo. Contudo, com o uso dos receptores GNSS modernos L1/L2/GPS+Glonass, pode-se obter uma solução fixa com apenas 15 minutos de rastreo empregando-se o método rápido estático e desde que respeitando-se uma linha de base com comprimento inferior a 30 km, de tal sorte que a variação do resultado final é tão



pequena (ou até desprezível) ao se comparar ocupações com um período de rastreamento entre 15 e 30 minutos.

Além disso, considerando que a resolução espacial do voo para esse açude é de GSD 25 cm, nenhum objeto poderá ser identificado nas imagens fotográficas com dimensões laterais inferiores a 75 cm (3x3 pixels). Nesse cenário, a diferença de poucos centímetros, entre um ponto rastreado com 20 ou 30 minutos, não afetará a precisão e a qualidade posicional do produto final.

Do quantitativo de pontos mencionados no QUADRO 13, referentes ao Apoio Suplementar e Pontos de Controle do açude Santa Inês pode-se afirmar:

- a) Quanto a duração, 100% dos pontos estão entre 20 e 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 08 satélites;
- e) Quanto ao RMS, 100% dos pontos atingiram precisão melhor que 1 centímetro;
- 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 na Ondulação Geoidal 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 13 - Memória de Cálculo – GNSS – Apoio Básico Suplementar e Pontos de Controle – Vetores

Name	Duration	Solution Type	Antenna Type	Antenna Height Vertical (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_AcudeSantaInes_001–RN2 - REG - STA	0:30	Fixed	LEIAT502	1,411	LEIAT502	3,460	2,631	7	0,005	0,002	0,002	3966,812
HV_AcudeSantaInes_002–RN2 - REG - STA	0:20	Fixed	LEIAT502	1,411	LEIAT502	2,250	2,368	11	0,010	0,002	0,002	3776,590
HV_AcudeSantaInes_003–RN2 - REG - STA	0:29	Fixed	LEIAT502	1,411	LEIAT502	2,400	2,322	8	0,005	0,002	0,002	2366,747
HV_AcudeSantaInes_004–RN2 - REG - STA	0:34	Fixed	LEIAT502	2,45	LEIAT502	1,381	1,734	10	0,005	0,002	0,002	1941,566
HV_AcudeSantaInes_005–RN2 - REG - STA	0:32	Fixed	LEIAT502	1,32	LEIAT502	2,000	2,920	12	0,003	0,001	0,001	637,756
HV_AcudeSantaInes_006–RN2 - REG - STA	0:29	Fixed	LEIAT502	1,32	LEIAT502	2,480	2,243	9	0,003	0,001	0,001	1472,117
HV_AcudeSantaInes_007–RN2 - REG - STA	0:29	Fixed	LEIAT502	1,32	LEIAT502	2,000	1,808	10	0,003	0,001	0,001	2656,670
HV_AcudeSantaInes_008–RN2 - REG - STA	0:30	Fixed	LEIAT502	1,411	LEIAT502	2,400	2,548	8	0,004	0,001	0,002	3736,672
HV_AcudeSantaInes_009–RN2 - REG - STA	0:31	Fixed	LEIAT502	1,411	LEIAT502	2,450	1,720	10	0,005	0,002	0,002	5544,367
HV_AcudeSantaInes_010–RN2 - REG - STA	0:27	Fixed	LEIAT502	1,411	LEIAT502	2,300	2,135	10	0,006	0,002	0,002	1931,809
HV_AcudeSantaInes_014–RN2 - REG - STA	0:21	Fixed	LEIAT502	1,32	LEIAT502	2,100	1,690	9	0,008	0,003	0,003	2193,778
PC_AcudeSantaInes_002–RN2 - REG - STA	0:29	Fixed	LEIAT502	1,411	LEIAT502	2,000	2,605	10	0,008	0,002	0,002	4096,142
PC_AcudeSantaInes_003–RN2 - REG - STA	0:30	Fixed	LEIAT502	1,411	LEIAT502	2,450	1,720	10	0,003	0,001	0,001	2094,183
PC_AcudeSantaInes_004–RN1-REG-STA	6:00	Fixed	JAV_TRIUMPH-1 NONE	2	JAV_TRIUMPH-1 NONE	2,000	1,500	20	0,001	0,000	0,000	367,563
PC_AcudeSantaInes_005–RN1-REG-STA	2:04	Fixed	JAV_TRIUMPH-1 NONE	2	JAV_TRIUMPH-1 NONE	2,000	1,725	14	0,001	0,000	0,000	21,960

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

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

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

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_AcudeSantaInes_001	7°36'59,32334"S	38°37'40,75355"W	9158082,979	541033,200	495,020	504,153	-9,133	0,002	0,002	0,005
HV_AcudeSantaInes_002	7°36'28,47079"S	38°37'12,04419"W	9159029,660	541913,671	455,069	464,202	-9,133	0,002	0,002	0,010
HV_AcudeSantaInes_003	7°37'38,70459"S	38°36'59,20075"W	9156872,512	542305,281	433,234	442,367	-9,133	0,002	0,002	0,005
HV_AcudeSantaInes_004	7°37'00,70665"S	38°36'17,61926"W	9158038,238	543580,352	424,330	433,463	-9,133	0,002	0,002	0,004
HV_AcudeSantaInes_005	7°37'38,85980"S	38°35'29,25900"W	9156865,217	545060,979	412,509	421,642	-9,133	0,001	0,001	0,003
HV_AcudeSantaInes_006	7°38'41,19667"S	38°35'51,45001"W	9154951,555	544379,287	479,156	488,289	-9,133	0,001	0,001	0,003
HV_AcudeSantaInes_007	7°39'15,71197"S	38°36'11,76761"W	9153892,203	543755,829	432,036	441,169	-9,133	0,001	0,001	0,003
HV_AcudeSantaInes_008	7°38'14,12410"S	38°37'43,73714"W	9155786,012	540939,809	438,664	447,797	-9,133	0,001	0,002	0,004
HV_AcudeSantaInes_009	7°37'03,86020"S	38°38'37,28445"W	9157945,116	539301,011	441,304	450,437	-9,133	0,002	0,002	0,004
HV_AcudeSantaInes_010	7°37'33,24896"S	38°36'43,02064"W	9157039,605	542801,169	450,877	460,010	-9,133	0,002	0,002	0,005
HV_AcudeSantaInes_014	7°39'01,08961"S	38°36'07,91732"W	9154341,131	543874,205	431,061	440,194	-9,133	0,003	0,003	0,007
PC_AcudeSantaInes_001	7°37'40,59278"S	38°35'43,32983"W	9156812,405	544629,816	436,387	445,520	-9,133	0,001	0,001	0,003
PC_AcudeSantaInes_002	7°37'06,58905"S	38°37'48,42871"W	9157860,059	540797,846	424,668	433,801	-9,133	0,002	0,002	0,007
PC_AcudeSantaInes_003	7°37'26,29680"S	38°36'45,94101"W	9157253,178	542711,884	478,329	487,462	-9,133	0,001	0,001	0,002
PC_AcudeSantaInes_004	7°37'41,32255"S	38°35'43,70250"W	9156790,005	544618,377	433,561	442,694	-9,133	0,014	0,015	0,022
PC_AcudeSantaInes_005	7°37'53,96142"S	38°35'43,51729"W	9156401,873	544623,688	434,036	443,169	-9,133	0,000	0,000	0,001

<sup>7</sup> As bases utilizadas neste processamento foram: RN1-REG-STA e RN2.

Ao analisar os elementos presentes no Quadro 13 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 7 (sete), sendo 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 entre 20 e 30 minutos. Apesar do tempo mínimo de observação preconizado em Edital ser de 30 minutos, os resultados obtidos estão dentro das precisões previstas para essa contratação e atendem os requisitos referentes ao produto final exigido pelo Edital;
- 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 implantadas: Rede de Apoio Básico Planimétrica de 2º Ordem, a Rede de Apoio Básico Planialtimétrico Complementar, 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.



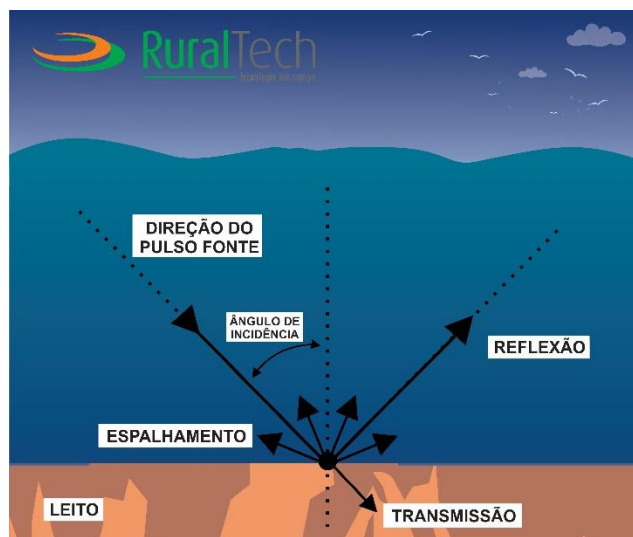


Figura 7 - Esquema ilustrando a incidência e reflexão da onda acústica no leito de um corpo aquático

#### 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.





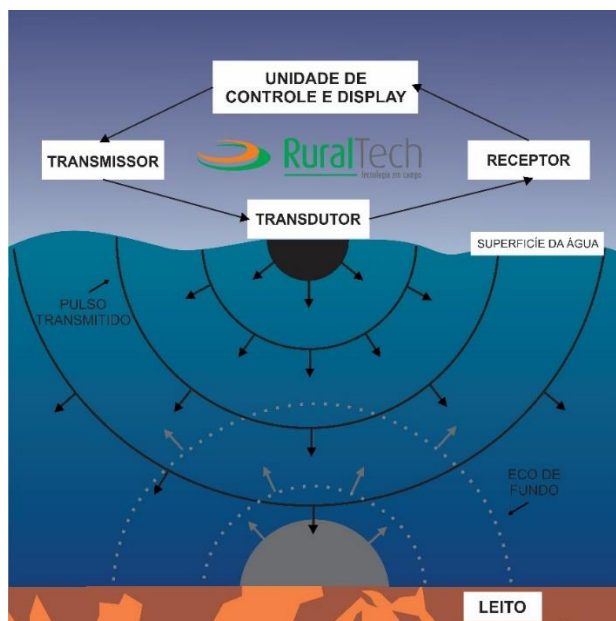


Figura 8 - Componentes de um ecobatímetro monofeixe

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.

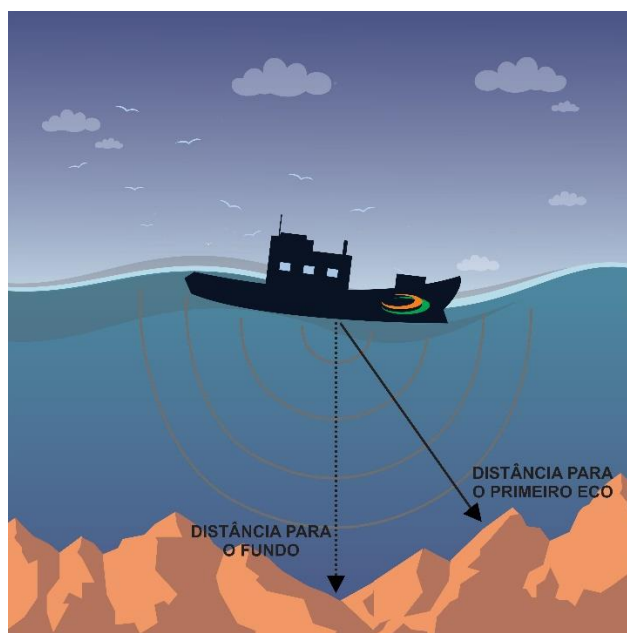


Figura 9 - Mapeamento de um leito irregular



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.

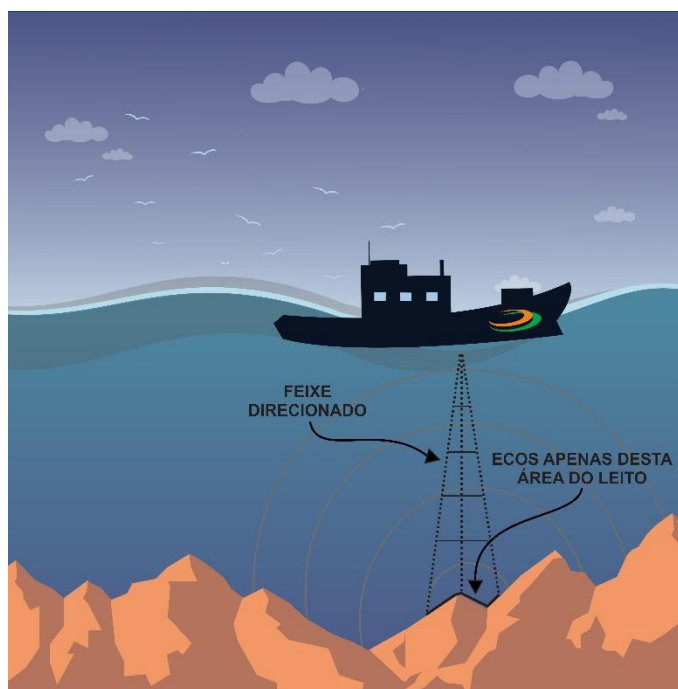


Figura 10 - Utilização de um feixe direcionado em um fundo irregular

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.

#### 10.1.1. 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 que mensuram a velocidade de propagação do som na água. Um destes 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 sensores para mensuração da velocidade de propagação do som na água utilizando um 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. Tais valores são inseridos nos programas de processamento de dados batimétricos, corrigindo as medições de profundidades realizadas Figura 11.

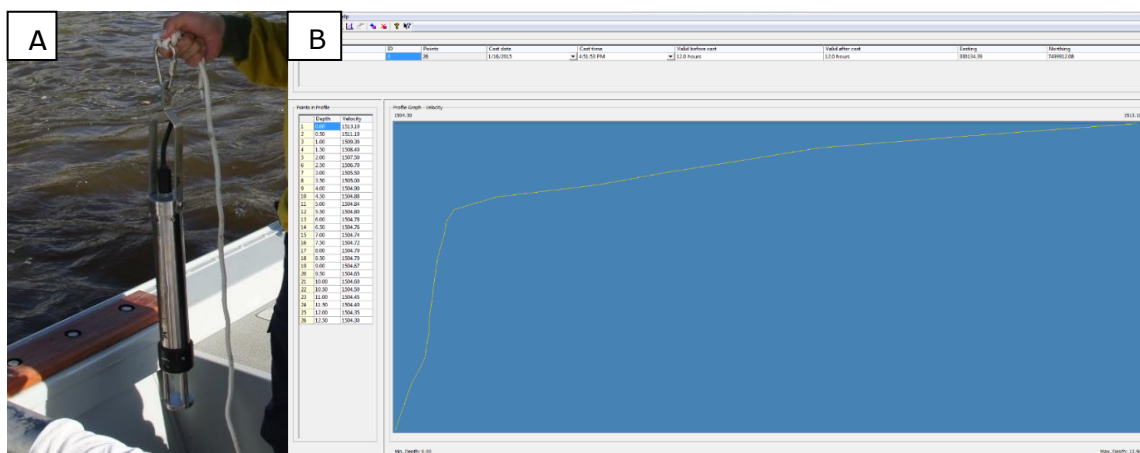


Figura 11 - (A) Perfilador de velocidade do som modelo Teledyne Odom Digibar S (B) Perfil de velocidade do som que é inserido no software.

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, e para isso, foi



realizado um nivelamento geométrico de precisão partindo do RN1878L até o posto de réguas do barramento do açude Santa Inês<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 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 Santa Inês foi realizado empregando ecobatímetro monofeixe. Este levantamento serviu para compor conjuntamente com os dados do recobrimento aéreo e do perfilamento laser a área do açude, 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 Santa Inês foi realizado no dia 26 de junho de 2017 e posteriormente no dia 27 de março 2018. Durante o levantamento batimétrico, o açude se encontrava com baixas profundidades média de 3 (três) metros e pouca área de espelho d'água, portanto optou-se pela utilização única de metodologia monofeixe.

Os trabalhos foram iniciados com o levantamento nas proximidades do barramento do Açude Santa Inês e seguindo até os extremos do espelho d'água do açude, nas áreas de remanso do corpo principal e dos seus principais afluentes. A Figura 12 apresenta as linhas de sondagem realizadas. O levantamento monofeixe foi realizado com espaçamento transversal de 25 (vinte e cinco) metros e longitudinal de 50 (cinquenta)

---

<sup>8</sup> Toda a metodologia e resultados encontrados durante este trabalho encontram-se no Relatório de Apoio Geodésico de Campo do açude Santa Inês



metros no corpo principal, e transversal de 10 (dez) metros com longitudinais espaçadas em 20 (vinte) metros nos braços e afluentes, em todas as áreas que foi possível a navegação.



Figura 12 - Linhas batimétricas do açude Santa Inês<sup>9</sup>.

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 100 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.

<sup>9</sup> A imagem empregada não se refere a obtida no levantamento aerofotogramétrico desta contratação, de tal forma que na observada acima o nível d' água do açude está muito acima da observada durante a execução do levantamento batimétrico contratado.







Figura 13 - Linhas de controle de qualidade executadas no Açude Santa Inês

Os levantamentos deste açude apresentaram algumas adversidades devido às vegetações flutuantes que impediam a navegação nas proximidades das margens e nos extremos dos afluentes. Além de prejudicarem a navegação, alguns locais onde a vegetação se encontrava submersa, a qualidade dos dados era afetada, pois causavam grande quantidade de dados espúrios.

#### 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 14 é ilustrada a localização geográfica da seção de réguas linimétricas que foi utilizada no monitoramento do açude, e na Figura 15 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 Santa Inês, 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.

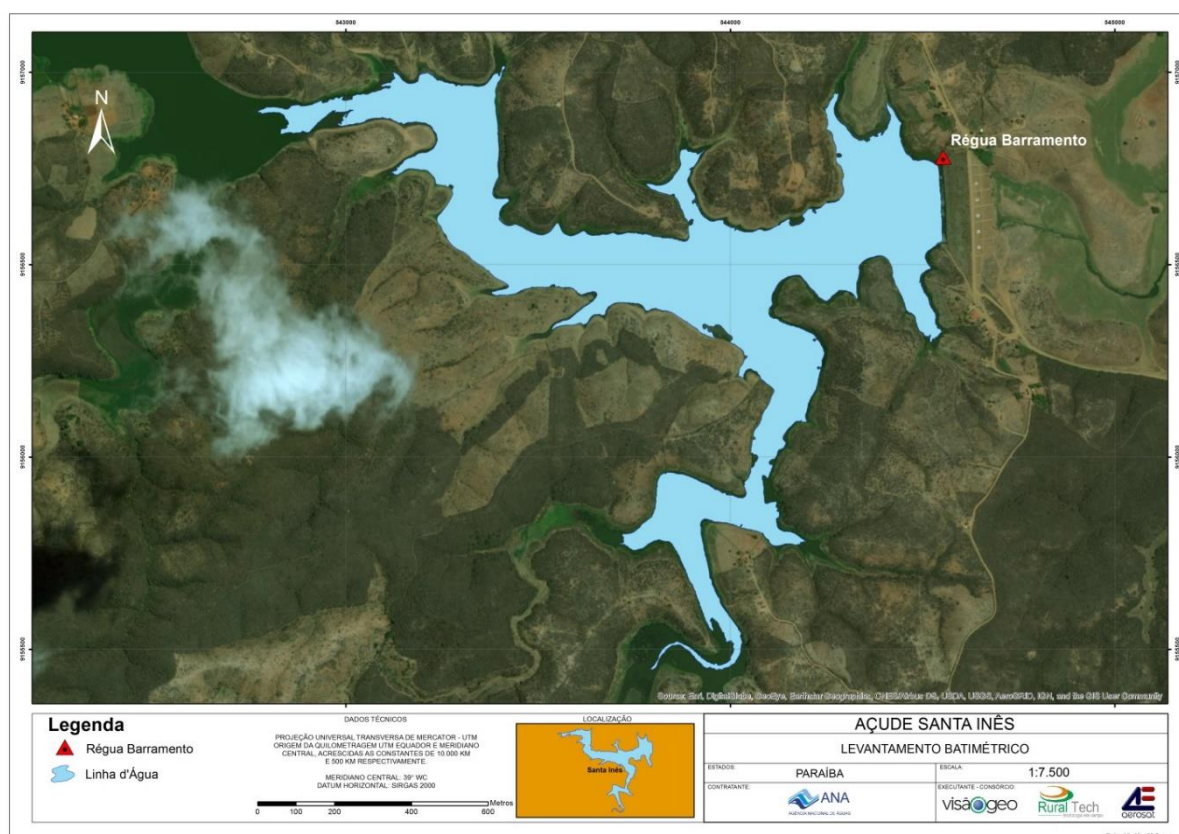


Figura 14 - Régua Linimétrica utilizada no monitoramento de nível do Açude Santa Inês.



Data Hora	Régua Barramento
24/06/2017 15:06	422.35
24/06/2017 15:51	422.35
24/06/2017 16:06	422.36
24/06/2017 16:21	422.35
24/06/2017 16:51	422.35
24/06/2017 17:06	422.35
24/06/2017 17:36	422.36
24/06/2017 18:06	422.36

Figura 15 - Trecho da Tabela de Variação de nível de água na régua linimétrica do barramento do Açude Santa Inês

#### 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

O software utilizado no processamento dos dados foi o mesmo empregado na aquisição, e é separado em módulos: Configuração do Projeto, Aquisição dos Dados Batimétricos e Processamento. Para o conjunto monofeixe, foi utilizado o software Hypack, versão 2016, produzido pela Hypack Inc.

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 do software (que oferece 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.

#### 10.2.5. Procesamento 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.

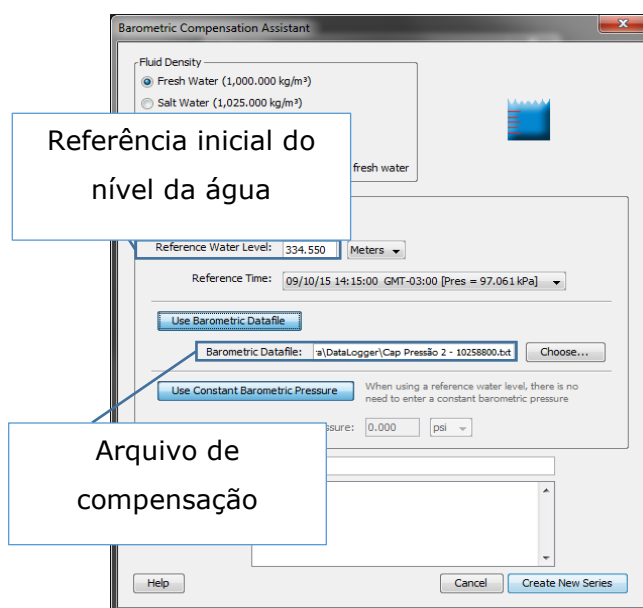


Figura 16 - Inserção da Referência Altimétrica e da Compensação Atmosférica



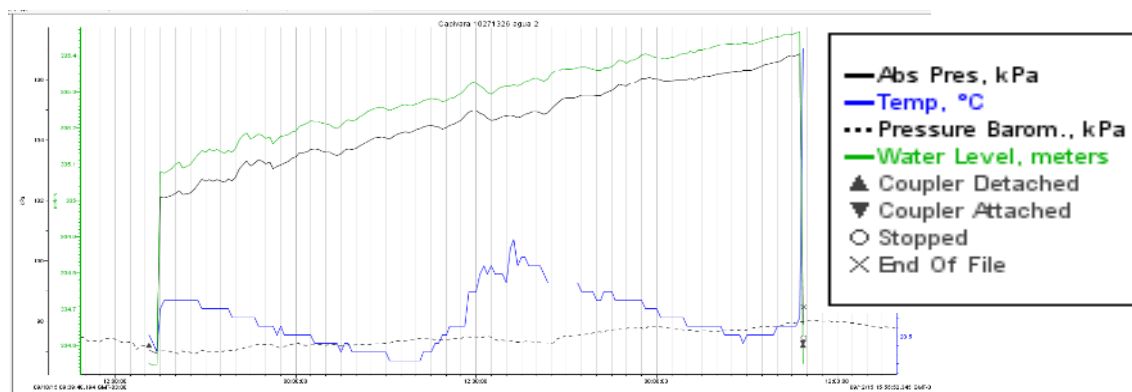


Figura 17 - Gráfico resultante do Processamento do Data Logger. Em verde, a variação centimétrica do nível da água ao longo do período em que o mesmo esteve na água.

#### 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 as cotas do nível da água observadas na estação monitorada por meio de leituras de régua no barramento do empreendimento, conforme descrito no item 10.1.2 e ilustrada na Figura 14 deste documento. O arquivo de monitoramento de nível é inserido 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 18 é mostrado o gráfico de variação de nível no barramento do açude Santa Inês durante o dia de levantamento batimétrico 15 em 15 minutos.



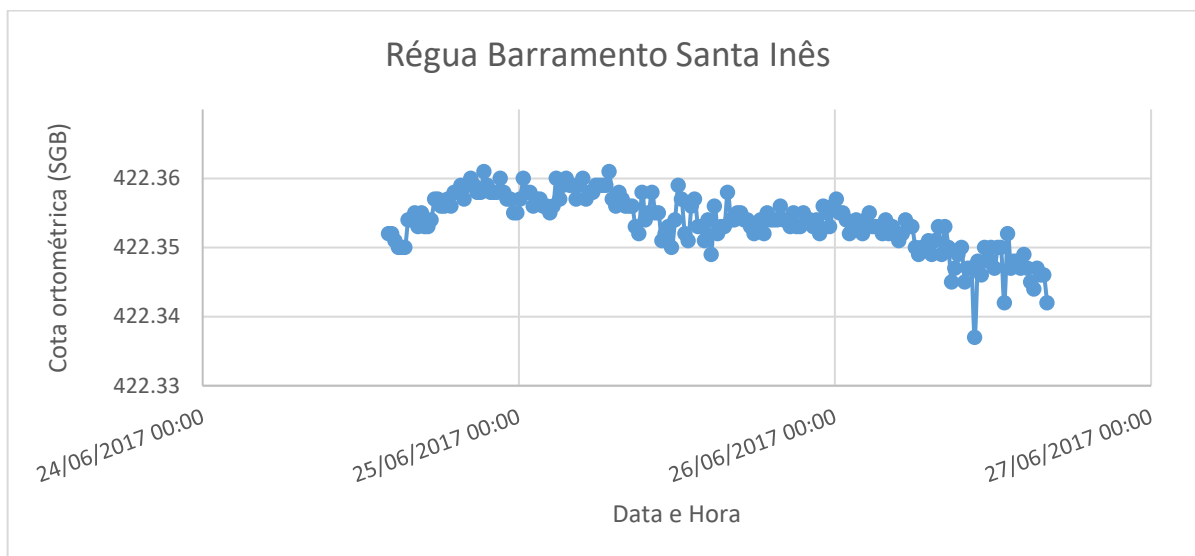


Figura 18 - Gráfico da variação de nível no barramento do açude Santa Inês

### 10.3. RESULTADOS E ANÁLISES

A área total levantada com a batimetria monofeixe foi de aproximadamente 0,4 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 1 foi feita 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:

$$IVT = \pm \sqrt{0.0625 + (0.0075 * P)^2}^{10}$$

Tabela 1 - Estatística das diferenças da batimetria originária

Estatística Descritiva	
Média (m)	-0,029
Mediana (m)	-0,02
Desvio padrão (m)	0,096

<sup>10</sup> na qual P = profundidade mensurada no Ponto de Controle Batimétrico.



Estatística Descritiva	
Mínimo (m)	-0,62
Máximo (m)	0,53
Contagem	990

A tabela acima apresenta as principais estatísticas da amostra analisada. Temos que a média e a mediana são bem próximas (da ordem de nove milímetros), indicando que não há presença grande 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 9 (nove) centímetros em torno da média. A análise da IVT foi realizada com as 990 amostras, com 953 (96,1%) 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 19 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.





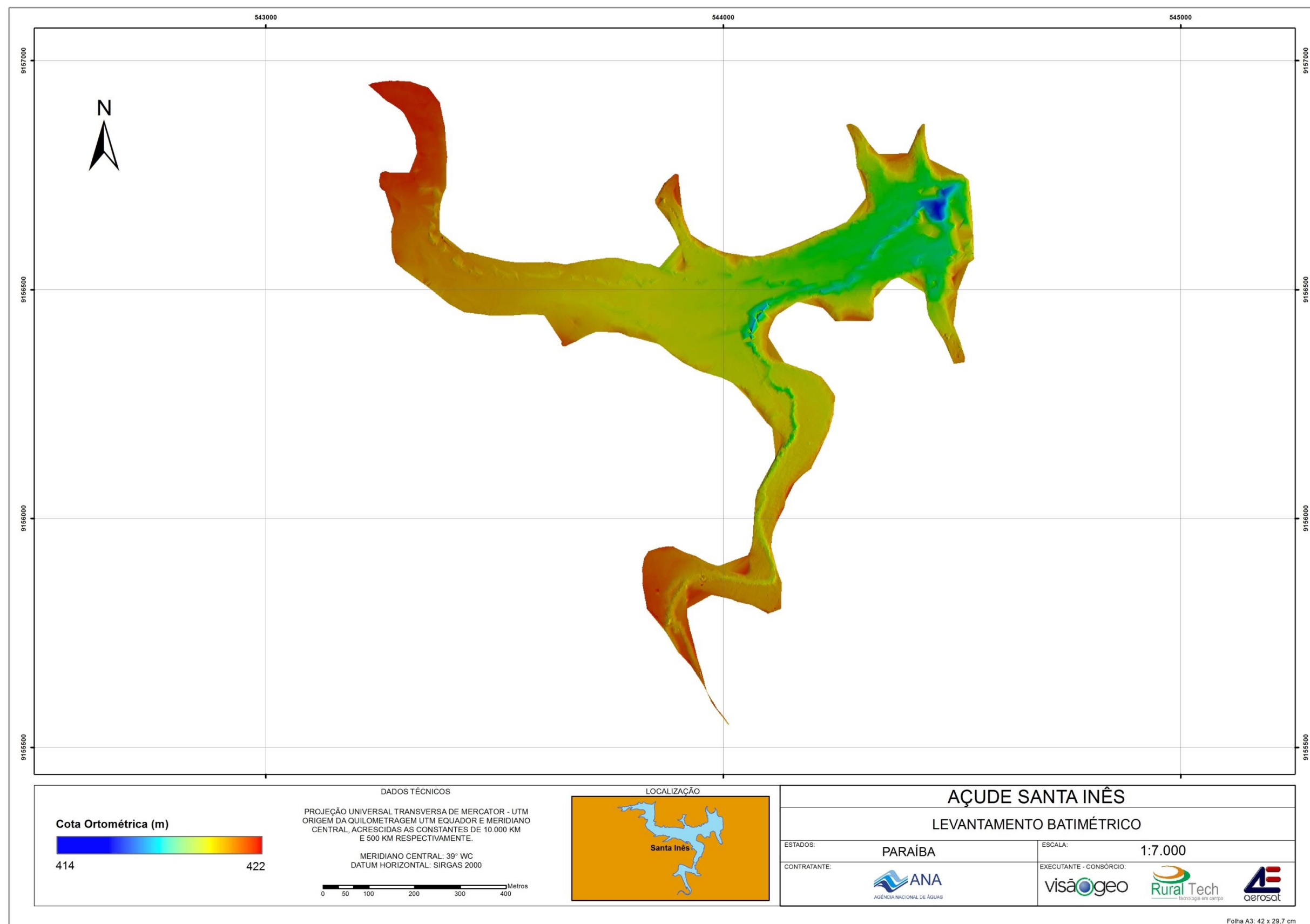


Figura 19 - Grid de pontos batimétricos

WWW.VISÃO GEO.COM.BR

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

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

#### 10.4. CONTROLE DE QUALIDADE

Para fins de verificação do modelo foram analisadas as linhas de controle, realizadas conforme descritas no Item 10.3 deste documento e ilustradas na Figura 13. Foram utilizados 285 (duzentos e oitenta e cinco) pontos de controle para avaliação de um modelo batimétrico preliminar<sup>11</sup>. Primariamente, foram analisadas as intersecções das linhas de verificação. A estatística descritiva é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Estatística das diferenças das Linhas de Verificação

Estatística Descritiva	
Média	-0,052
Mediana	-0,04
Desvio padrão	0,09
Mínimo (m)	-0,46
Máximo (m)	0,48
Contagem	285

Da mesma forma que os conceitos apresentados no Item 10.3 deste documento temos que a diferença entre média e mediana é da ordem de um centímetro, representando a baixa presença de dados espúrios, e um desvio padrão da ordem de aproximadamente 9 centímetros, indicando, entre outras coisas, que 68% dos dados testados estão com diferenças entre -14 e 4 centímetros.

Verificou-se que nos cruzamentos das linhas de sondagem transversais e longitudinais do levantamento batimétrico de controle, que em 98% dos casos é atendida a IVT estabelecida pela OHI para levantamentos de Ordem Especial. Desta forma, a média das profundidades nos pontos de cruzamentos foram utilizados para avaliar o modelo preliminar gerado pela batimetria. Os pontos e o modelo são apresentados na Figura 20.

---

<sup>11</sup> Usado interpolador Topo to Raster presente no software ArcGis.



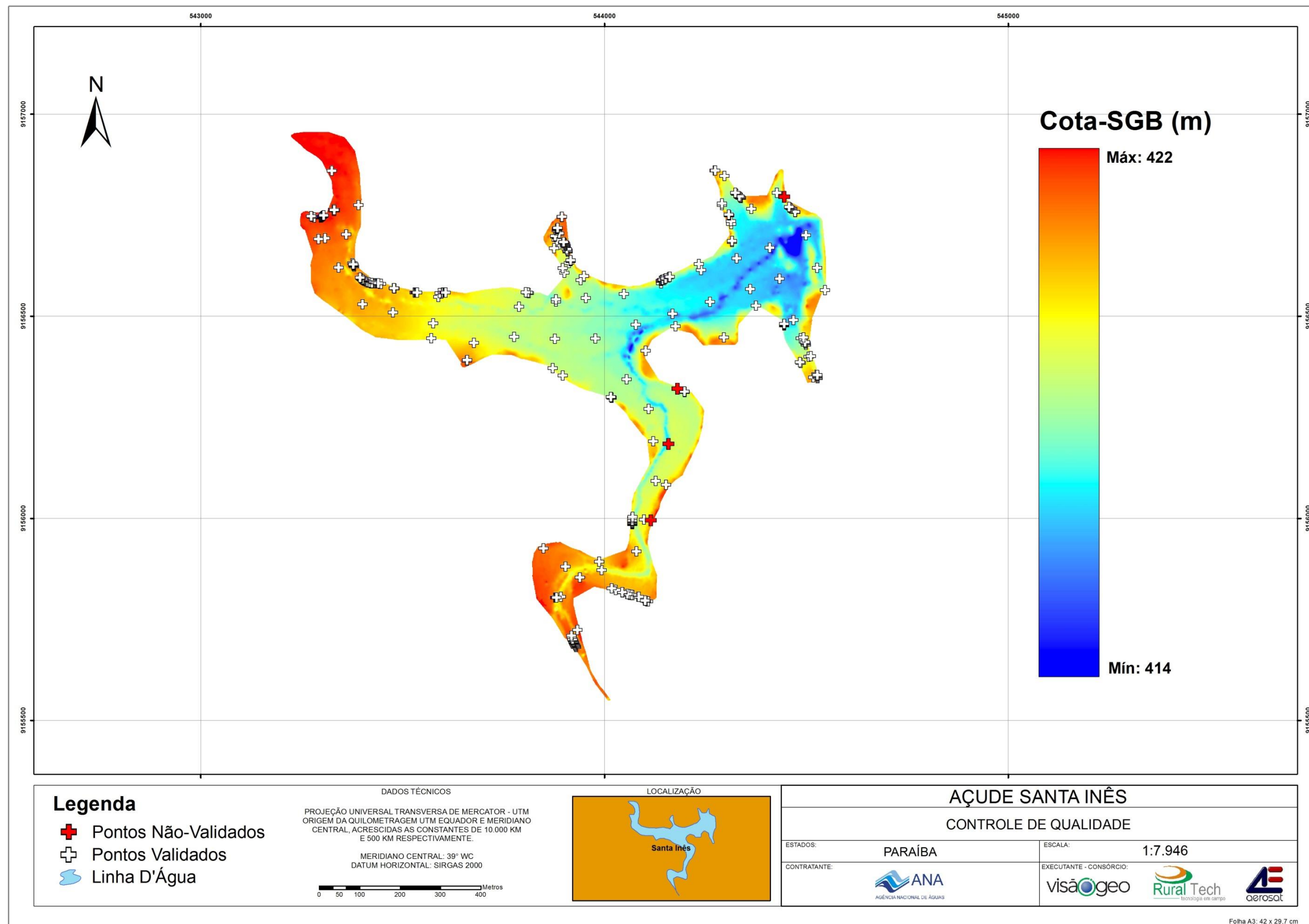


Figura 20 - Pontos de conferência utilizados para análise do modelo

Dos 285 (duzentos e oitenta e cinco) pontos que foram utilizados para análise do modelo, 280 (duzentos e oitenta) deles ficaram dentro da margem permitida pela IVT e apenas 5 (cinco) acima dos valores permitidos. Entretanto, verificou-se que os pontos de conferência nas proximidades destes não validados, possuem boa aderência com relação ao modelo, levando a crer que as linhas originárias estão coerentes e que as discrepâncias podem ser relacionadas a algum problema aleatório na execução das linhas de conferência. O ponto com maior discrepância, por exemplo, no valor de 73 (setenta e três) centímetros é vizinho a um ponto com diferença de um milímetro entre o valor do cruzamento e do modelo. Além disto, os 5 estão em profundidades distintas (entre um e cinco metros), reafirmando que devem ser erros aleatórios e não sistemáticos.

Na Tabela 3 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 21, 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 toda a área avaliada.



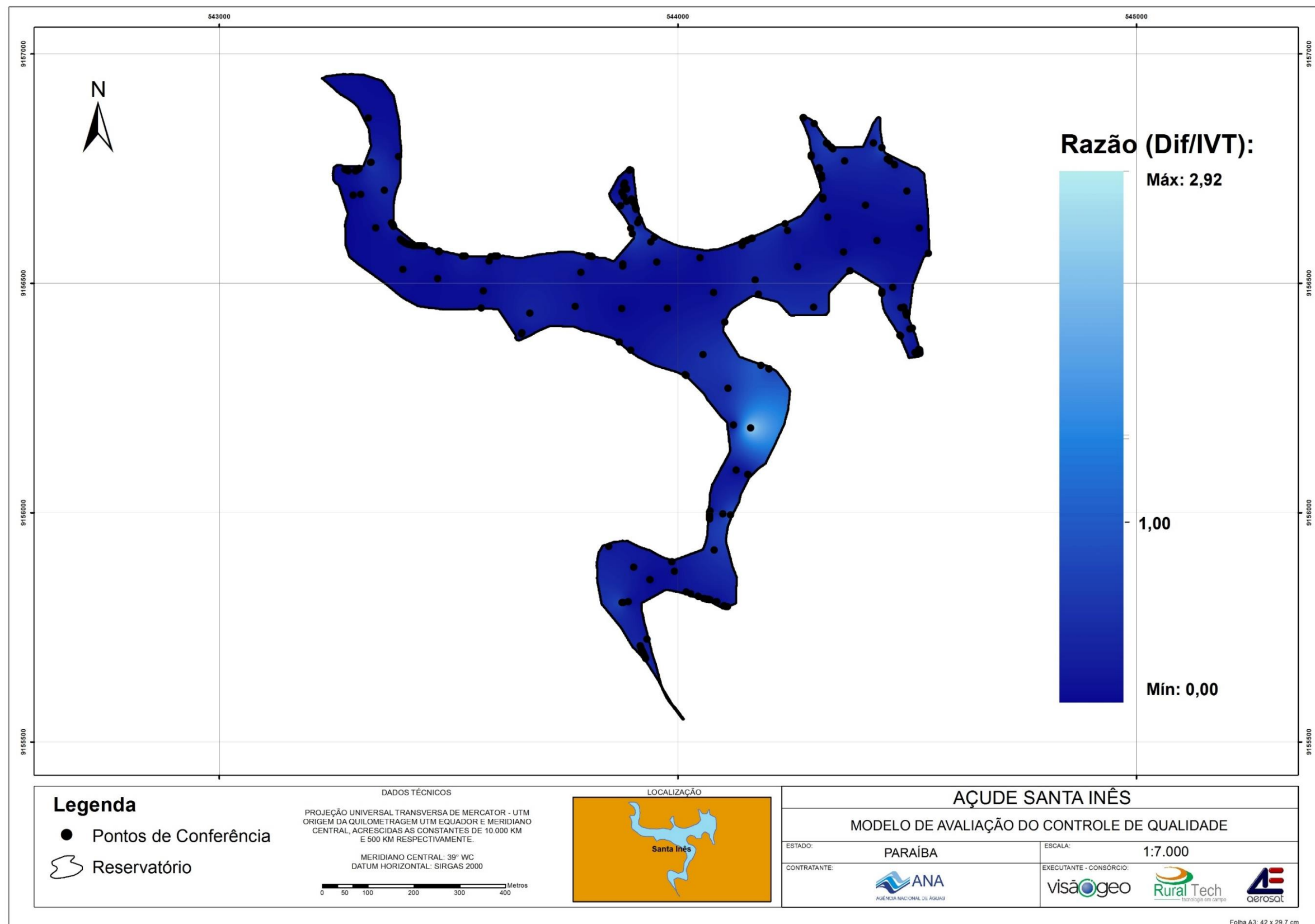


Figura 21 - Modelo de avaliação espacial do controle de qualidade



WWW.VISÃOGEO.COM.BR

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

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

Tabela 3 - Análise dos Pontos de Conferência

Este (m)	Norte (m)	Cota Cruzamento	Cota Modelo	Profundidade Média	IVT aceitável	Diferença Absoluta
544159.29	9156184.22	417.94	418.68	4.41	0.25	0.73
543330.50	9156762.50	421.01	421.31	1.34	0.25	0.30
544445.50	9156795.50	419.82	420.10	2.54	0.25	0.29
544181.50	9156320.50	419.01	419.29	3.35	0.25	0.29
544115.50	9155994.50	420.57	420.84	1.78	0.25	0.27
543879.50	9155803.50	420.69	420.44	1.67	0.25	0.24
544445.50	9156794.50	419.81	420.05	2.54	0.25	0.24
544234.50	9156629.50	418.75	418.98	3.61	0.25	0.24
544325.50	9156804.50	420.41	420.64	1.95	0.25	0.24
543878.50	9155803.50	420.86	420.62	1.50	0.25	0.23
543901.50	9156607.50	419.84	419.61	2.52	0.25	0.23
543904.50	9156674.50	419.59	419.80	2.77	0.25	0.21
544308.50	9156750.50	419.42	419.63	2.93	0.25	0.21
544324.50	9156805.50	420.39	420.59	1.96	0.25	0.20
544198.50	9156313.50	419.17	419.36	3.19	0.25	0.19
544334.50	9156796.50	420.02	420.21	2.33	0.25	0.19
543880.50	9155803.50	420.45	420.27	1.90	0.25	0.18
543897.50	9156619.50	419.29	419.11	3.06	0.25	0.18
544336.50	9156794.50	419.93	420.11	2.42	0.25	0.18
543903.50	9156677.50	419.65	419.82	2.70	0.25	0.17
544069.50	9155994.50	419.06	418.89	3.30	0.25	0.17
544161.50	9156597.50	419.37	419.53	2.99	0.25	0.16
544445.50	9156479.50	418.31	418.15	4.05	0.25	0.16
544199.50	9156312.50	419.12	419.28	3.23	0.25	0.16
543907.50	9156666.50	419.62	419.77	2.74	0.25	0.15
544337.50	9156793.50	419.89	420.04	2.46	0.25	0.15
544445.50	9156478.50	418.34	418.19	4.01	0.25	0.15
544159.50	9156596.50	419.22	419.36	3.14	0.25	0.15
543949.50	9156599.50	420.11	420.25	2.25	0.25	0.15
544338.50	9156792.50	419.83	419.96	2.53	0.25	0.14
544069.50	9155993.50	419.06	418.92	3.29	0.25	0.14
544018.50	9156298.50	418.80	418.94	3.55	0.25	0.14
544069.50	9155985.50	419.32	419.18	3.03	0.25	0.14
543903.50	9156675.50	419.61	419.74	2.74	0.25	0.13
544484.50	9156386.50	420.18	420.05	2.17	0.25	0.13
544079.64	9155917.84	420.32	420.19	2.03	0.25	0.13
544445.50	9156480.50	418.23	418.11	4.12	0.25	0.12
544143.50	9156589.50	419.72	419.60	2.63	0.25	0.12





Este (m)	Norte (m)	Cota Cruzamento	Cota Modelo	Profundidade Média	IVT aceitável	Diferença Absoluta
544497.50	9156436.50	420.05	419.93	2.31	0.25	0.12
544527.50	9156352.50	421.04	420.92	1.31	0.25	0.12
544486.50	9156384.50	420.10	419.98	2.25	0.25	0.12
544055.21	9156344.11	418.46	418.58	3.89	0.25	0.12
543930.50	9155681.50	421.37	421.25	0.98	0.25	0.12
544462.50	9156766.50	420.27	420.38	2.09	0.25	0.12
544297.50	9156847.50	419.82	419.93	2.54	0.25	0.12
544445.50	9156477.50	418.36	418.24	4.00	0.25	0.11
543924.50	9155694.50	421.44	421.32	0.92	0.25	0.11
543881.50	9155803.50	420.23	420.12	2.12	0.25	0.11
544017.50	9156299.50	418.80	418.91	3.55	0.25	0.11
544497.50	9156435.50	420.05	419.93	2.31	0.25	0.11
544069.50	9155986.50	419.27	419.15	3.09	0.25	0.11
544308.50	9156751.50	419.45	419.55	2.91	0.25	0.11
544460.50	9156768.50	420.15	420.26	2.20	0.25	0.11
544069.50	9155987.50	419.24	419.13	3.12	0.25	0.11
543918.50	9155709.50	421.44	421.33	0.92	0.25	0.11
544098.51	9155996.80	419.56	419.66	2.80	0.25	0.11
543902.50	9156679.50	419.76	419.87	2.59	0.25	0.11
543941.62	9156589.58	418.75	418.85	3.60	0.25	0.10
543922.50	9155699.50	421.45	421.35	0.91	0.25	0.10
544109.80	9156270.63	419.06	419.15	3.30	0.25	0.10
544296.50	9156447.50	419.97	419.87	2.39	0.25	0.10
543925.50	9155692.50	421.43	421.33	0.92	0.25	0.10
544069.50	9155990.50	419.14	419.04	3.22	0.25	0.10
544152.50	9156593.50	418.99	419.09	3.36	0.25	0.10
544313.50	9156735.50	419.48	419.57	2.88	0.25	0.09
543902.50	9156678.50	419.70	419.79	2.65	0.25	0.09
544493.50	9156447.50	419.69	419.60	2.66	0.25	0.09
544150.50	9156592.50	418.98	419.07	3.37	0.25	0.09
543805.50	9156559.50	419.12	419.21	3.23	0.25	0.09
543924.50	9155693.50	421.45	421.35	0.91	0.25	0.09
544069.50	9155991.50	419.10	419.00	3.26	0.25	0.09
543534.50	9156558.50	420.06	420.15	2.29	0.25	0.09
543360.78	9156702.36	421.07	421.16	1.28	0.25	0.09
543888.78	9156677.94	419.71	419.80	2.64	0.25	0.09
544364.18	9156765.93	419.60	419.69	2.75	0.25	0.09
543677.50	9156434.50	420.20	420.11	2.16	0.25	0.09
544375.94	9156526.56	417.76	417.85	4.59	0.25	0.09
544498.50	9156432.50	420.10	420.01	2.25	0.25	0.09



Este (m)	Norte (m)	Cota Cruzamento	Cota Modelo	Profundidade Média	IVT aceitável	Diferença Absoluta
543533.50	9156558.50	420.06	420.15	2.29	0.25	0.09
543535.50	9156558.50	420.05	420.13	2.31	0.25	0.09
544108.50	9155794.50	420.97	420.88	1.39	0.25	0.09
544162.51	9156597.68	419.44	419.52	2.91	0.25	0.09
544069.50	9155988.50	419.19	419.10	3.17	0.25	0.09
543919.50	9155706.50	421.43	421.34	0.92	0.25	0.09
544176.50	9156475.50	419.19	419.10	3.17	0.25	0.09
543600.50	9156558.50	420.13	420.04	2.22	0.25	0.09
544327.45	9156803.22	420.57	420.66	1.78	0.25	0.08
544056.50	9155812.50	420.76	420.67	1.60	0.25	0.08
544498.50	9156433.50	420.10	420.01	2.26	0.25	0.08
544457.50	9156770.50	420.00	420.08	2.36	0.25	0.08
544169.34	9156506.44	417.21	417.29	5.14	0.25	0.08
543888.50	9156704.50	420.56	420.63	1.80	0.25	0.08
543536.50	9156558.50	420.02	420.09	2.34	0.25	0.08
543380.50	9156623.50	420.30	420.38	2.05	0.25	0.08
544016.50	9156300.50	418.80	418.87	3.56	0.25	0.08
543888.50	9156705.50	420.59	420.67	1.76	0.25	0.08
544375.50	9156526.50	417.76	417.84	4.59	0.25	0.08
543378.50	9156627.50	420.42	420.50	1.93	0.25	0.08
544527.50	9156351.50	421.02	420.94	1.33	0.25	0.08
544445.50	9156481.50	418.15	418.07	4.21	0.25	0.07
543923.50	9155696.50	421.42	421.35	0.93	0.25	0.07
543875.50	9156668.50	420.01	419.94	2.34	0.25	0.07
544458.50	9156769.50	420.05	420.12	2.30	0.25	0.07
543916.50	9156636.50	419.66	419.73	2.69	0.25	0.07
544291.50	9156779.50	418.95	418.87	3.41	0.25	0.07
543925.50	9155691.50	421.43	421.36	0.93	0.25	0.07
543908.50	9156663.50	419.67	419.74	2.68	0.25	0.07
543531.50	9156558.50	420.08	420.14	2.28	0.25	0.07
544472.50	9156758.50	420.49	420.55	1.87	0.25	0.07
544316.40	9156685.55	420.10	420.16	2.25	0.25	0.07
543921.50	9155700.50	421.45	421.38	0.91	0.25	0.06
543530.50	9156558.50	420.08	420.14	2.28	0.25	0.06
544527.50	9156354.50	420.92	420.86	1.43	0.25	0.06
544102.50	9156414.50	421.02	420.96	1.33	0.25	0.06
544057.50	9155812.50	420.71	420.65	1.64	0.25	0.06
543605.50	9156558.50	420.06	420.00	2.29	0.25	0.06
543900.50	9156682.50	420.06	420.00	2.29	0.25	0.06
543922.50	9155698.50	421.43	421.36	0.93	0.25	0.06



Este (m)	Norte (m)	Cota Cruzamento	Cota Modelo	Profundidade Média	IVT aceitável	Diferença Absoluta
544499.50	9156429.50	420.18	420.12	2.17	0.25	0.06
544291.50	9156775.50	418.92	418.98	3.43	0.25	0.06
543916.50	9156638.50	419.90	419.84	2.46	0.25	0.06
544107.50	9155794.50	420.94	420.88	1.41	0.25	0.06
544499.80	9156700.51	417.67	417.61	4.68	0.25	0.06
543601.50	9156558.50	420.09	420.03	2.26	0.25	0.06
544140.79	9156581.73	418.70	418.76	3.65	0.25	0.06
543929.50	9155683.50	421.34	421.28	1.01	0.25	0.06
543416.50	9156583.50	420.66	420.71	1.70	0.25	0.06
544309.50	9156749.50	419.43	419.48	2.93	0.25	0.06
543904.05	9155880.60	420.78	420.72	1.58	0.25	0.05
544486.97	9156445.87	418.58	418.64	3.77	0.25	0.05
543378.50	9156628.50	420.42	420.47	1.93	0.25	0.05
544316.50	9156685.50	420.11	420.16	2.25	0.25	0.05
544144.50	9156590.50	419.51	419.45	2.85	0.25	0.05
543606.50	9156558.50	420.05	420.00	2.31	0.25	0.05
544528.50	9156348.50	420.86	420.90	1.50	0.25	0.05
543413.50	9156584.50	420.67	420.72	1.68	0.25	0.05
543376.23	9156631.30	420.66	420.61	1.69	0.25	0.05
543849.50	9155925.50	421.12	421.07	1.24	0.25	0.05
543379.50	9156625.50	420.40	420.44	1.96	0.25	0.04
543660.50	9156391.50	420.88	420.83	1.48	0.25	0.04
543447.50	9156580.50	420.52	420.47	1.84	0.25	0.04
543880.71	9156536.62	418.76	418.71	3.60	0.25	0.04
543776.91	9156449.15	418.46	418.50	3.90	0.25	0.04
544427.26	9156805.58	418.24	418.28	4.11	0.25	0.04
543417.50	9156583.50	420.64	420.68	1.71	0.25	0.04
544063.50	9155810.50	420.64	420.59	1.72	0.25	0.04
544061.50	9155811.50	420.64	420.60	1.71	0.25	0.04
544145.50	9156590.50	419.24	419.28	3.11	0.25	0.04
543401.50	9156590.50	420.77	420.73	1.59	0.25	0.04
543422.78	9156581.71	420.58	420.62	1.77	0.25	0.04
543604.50	9156558.50	420.04	420.00	2.31	0.25	0.04
543927.50	9155687.50	421.40	421.43	0.96	0.25	0.04
543901.50	9156681.50	419.93	419.96	2.43	0.25	0.04
544064.50	9155810.50	420.62	420.58	1.73	0.25	0.04
543400.50	9156591.50	420.77	420.73	1.59	0.25	0.04
543933.50	9155723.50	421.53	421.57	0.82	0.25	0.04
544103.50	9155795.50	420.80	420.84	1.55	0.25	0.04
544018.50	9155826.50	420.69	420.66	1.66	0.25	0.03



Este (m)	Norte (m)	Cota Cruzamento	Cota Modelo	Profundidade Média	IVT aceitável	Diferença Absoluta
543895.50	9156746.50	421.21	421.24	1.14	0.25	0.03
544028.50	9155822.50	420.57	420.60	1.78	0.25	0.03
544528.50	9156346.50	420.83	420.86	1.53	0.25	0.03
544162.50	9156597.50	419.46	419.49	2.89	0.25	0.03
544140.50	9156587.50	419.68	419.71	2.67	0.25	0.03
544316.50	9156683.50	420.10	420.13	2.25	0.25	0.03
543379.50	9156626.50	420.42	420.45	1.93	0.25	0.03
543809.50	9156558.50	419.10	419.13	3.26	0.25	0.03
544084.50	9155805.50	420.44	420.47	1.91	0.25	0.03
544067.50	9155810.50	420.60	420.56	1.76	0.25	0.03
543916.60	9156637.57	419.83	419.80	2.52	0.25	0.03
544473.50	9156757.50	420.49	420.52	1.87	0.25	0.03
544261.82	9156535.74	417.83	417.80	4.52	0.25	0.03
544044.50	9155817.50	420.61	420.64	1.75	0.25	0.03
544511.50	9156401.50	419.35	419.32	3.01	0.25	0.03
543444.50	9156580.50	420.54	420.51	1.82	0.25	0.03
543987.23	9155892.62	420.22	420.24	2.14	0.25	0.03
543403.50	9156589.50	420.76	420.73	1.59	0.25	0.03
543909.50	9156661.50	419.87	419.90	2.48	0.25	0.03
543404.50	9156588.50	420.76	420.73	1.59	0.25	0.03
543872.50	9156371.50	419.25	419.22	3.10	0.25	0.03
543300.39	9156745.87	421.65	421.62	0.71	0.25	0.03
544410.11	9156669.47	417.40	417.37	4.95	0.25	0.03
543811.50	9156558.50	419.11	419.13	3.25	0.25	0.03
543589.11	9156547.94	419.69	419.71	2.67	0.25	0.03
543882.68	9156688.57	420.19	420.21	2.17	0.25	0.03
544100.50	9155796.50	420.70	420.72	1.66	0.25	0.03
543423.50	9156582.50	420.58	420.60	1.78	0.25	0.02
543788.92	9156523.33	418.82	418.84	3.53	0.25	0.02
544045.50	9155816.50	420.63	420.65	1.72	0.25	0.02
544069.50	9156000.50	418.99	419.01	3.37	0.25	0.02
543913.03	9156631.82	418.99	419.01	3.36	0.25	0.02
543571.50	9156445.50	419.56	419.54	2.79	0.25	0.02
543987.50	9155892.50	420.22	420.24	2.13	0.25	0.02
543425.50	9156581.50	420.61	420.58	1.75	0.25	0.02
543281.50	9156744.50	421.59	421.57	0.76	0.25	0.02
543878.50	9156698.50	420.45	420.47	1.91	0.25	0.02
544468.80	9156490.71	417.23	417.25	5.12	0.25	0.02
544141.50	9156588.50	419.76	419.78	2.60	0.25	0.02
543401.23	9156529.85	420.47	420.49	1.88	0.25	0.02



Este (m)	Norte (m)	Cota Cruzamento	Cota Modelo	Profundidade Média	IVT aceitável	Diferença Absoluta
543897.50	9156353.50	419.30	419.32	3.05	0.25	0.02
543928.50	9155685.50	421.36	421.34	0.99	0.25	0.02
544085.50	9155805.50	420.44	420.45	1.92	0.25	0.02
543808.50	9156558.50	419.12	419.14	3.23	0.25	0.02
543993.35	9155871.65	419.37	419.35	2.98	0.25	0.02
543909.50	9156660.50	419.94	419.92	2.42	0.25	0.02
544101.50	9155796.50	420.72	420.73	1.64	0.25	0.02
543440.50	9156581.50	420.53	420.51	1.83	0.25	0.02
544070.50	9156003.50	418.78	418.76	3.58	0.25	0.02
543954.56	9156545.53	418.61	418.63	3.74	0.25	0.02
544153.24	9156083.02	420.22	420.20	2.14	0.25	0.02
544069.50	9155809.50	420.54	420.56	1.81	0.25	0.02
543977.94	9156445.17	418.61	418.62	3.75	0.25	0.02
543325.59	9156859.86	421.66	421.68	0.69	0.25	0.02
543391.50	9156775.50	420.94	420.92	1.42	0.25	0.02
543607.50	9156558.50	420.01	419.99	2.34	0.25	0.02
544078.61	9156479.28	418.15	418.13	4.20	0.25	0.02
543926.50	9155689.50	421.41	421.40	0.94	0.25	0.01
544274.50	9156860.50	420.52	420.53	1.84	0.25	0.01
544546.50	9156564.50	419.67	419.66	2.68	0.25	0.01
544273.50	9156860.50	420.56	420.55	1.79	0.25	0.01
544525.70	9156355.32	420.86	420.84	1.49	0.25	0.01
543406.50	9156587.50	420.75	420.74	1.60	0.25	0.01
543880.50	9156541.50	418.25	418.26	4.11	0.25	0.01
543341.96	9156620.67	420.80	420.81	1.55	0.25	0.01
543399.50	9156591.50	420.74	420.72	1.62	0.25	0.01
543878.50	9156697.50	420.41	420.42	1.95	0.25	0.01
543884.50	9156717.50	420.79	420.80	1.57	0.25	0.01
543438.50	9156581.50	420.50	420.51	1.85	0.25	0.01
543882.50	9156712.50	420.69	420.70	1.67	0.25	0.01
543303.50	9156748.50	421.56	421.57	0.80	0.25	0.01
543396.50	9156594.50	420.72	420.73	1.63	0.25	0.01
544314.50	9156728.50	419.40	419.39	2.95	0.25	0.01
543276.50	9156746.50	421.54	421.55	0.82	0.25	0.01
543421.50	9156582.50	420.61	420.62	1.74	0.25	0.01
543916.50	9156637.50	419.79	419.78	2.56	0.25	0.01
544048.66	9156555.40	418.30	418.29	4.05	0.25	0.01
544327.70	9156643.43	417.43	417.41	4.93	0.25	0.01
544316.50	9156686.50	420.12	420.13	2.23	0.25	0.01
544239.83	9156614.35	417.61	417.61	4.75	0.25	0.01



Este (m)	Norte (m)	Cota Cruzamento	Cota Modelo	Profundidade Média	IVT aceitável	Diferença Absoluta
543424.50	9156582.50	420.60	420.59	1.75	0.25	0.01
543308.88	9156693.43	421.13	421.12	1.23	0.25	0.01
543303.43	9156748.08	421.56	421.57	0.79	0.25	0.01
543397.50	9156593.50	420.74	420.73	1.62	0.25	0.01
544127.66	9156092.40	419.15	419.14	3.20	0.25	0.01
543883.50	9156716.50	420.78	420.77	1.58	0.25	0.01
543304.50	9156748.50	421.55	421.55	0.81	0.25	0.01
543331.50	9156763.50	421.47	421.46	0.89	0.25	0.01
543395.50	9156595.50	420.72	420.73	1.63	0.25	0.01
543477.02	9156509.60	420.26	420.25	2.09	0.25	0.01
543302.50	9156747.50	421.59	421.58	0.76	0.25	0.01
544434.51	9156592.75	417.14	417.13	5.22	0.25	0.01
543659.50	9156389.50	420.95	420.94	1.41	0.25	0.01
543883.50	9156715.50	420.75	420.76	1.60	0.25	0.01
543298.50	9156744.50	421.64	421.63	0.71	0.25	0.01
543299.50	9156745.50	421.64	421.63	0.72	0.25	0.01
543305.50	9156749.50	421.54	421.55	0.81	0.25	0.01
543301.50	9156746.50	421.61	421.60	0.75	0.25	0.01
543894.50	9156745.50	421.21	421.21	1.15	0.25	0.01
543478.50	9156569.50	420.23	420.24	2.12	0.25	0.01
543813.50	9156557.50	419.10	419.09	3.25	0.25	0.01
543939.61	9155853.38	420.70	420.69	1.65	0.25	0.01
544517.50	9156348.50	420.50	420.50	1.86	0.25	0.01
543892.62	9155805.65	420.28	420.28	2.07	0.25	0.01
543439.50	9156581.50	420.52	420.51	1.84	0.25	0.01
544527.30	9156619.76	417.57	417.57	4.78	0.25	0.00
544361.51	9156567.64	417.54	417.55	4.81	0.25	0.00
543576.20	9156482.80	419.57	419.56	2.78	0.25	0.00
543297.50	9156744.50	421.65	421.65	0.70	0.25	0.00
543292.50	9156691.50	421.10	421.10	1.25	0.25	0.00
543437.50	9156581.50	420.52	420.51	1.84	0.25	0.00
544106.50	9155794.50	420.89	420.89	1.47	0.25	0.00
543433.50	9156581.50	420.52	420.51	1.84	0.25	0.00
543877.91	9156444.12	418.84	418.84	3.51	0.25	0.00
543410.50	9156585.50	420.71	420.71	1.64	0.25	0.00
544506.30	9156400.11	419.20	419.20	3.15	0.25	0.00
543939.50	9155853.50	420.70	420.69	1.66	0.25	0.00
543884.50	9156718.50	420.80	420.80	1.55	0.25	0.00
543274.50	9156747.50	421.54	421.54	0.81	0.25	0.00
543592.50	9156557.50	420.07	420.07	2.28	0.25	0.00



Este (m)	Norte (m)	Cota Cruzamento	Cota Modelo	Profundidade Média	IVT aceitável	Diferença Absoluta
543479.50	9156569.50	420.23	420.23	2.13	0.25	0.00
543292.43	9156691.47	421.10	421.10	1.25	0.25	0.00
543480.50	9156568.50	420.22	420.22	2.14	0.25	0.00
544070.50	9155809.50	420.53	420.52	1.83	0.25	0.00
543435.50	9156581.50	420.51	420.51	1.84	0.25	0.00
544121.50	9156190.50	419.54	419.54	2.81	0.25	0.00
543899.50	9156683.50	420.04	420.04	2.31	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>12</sup> fossem executadas conforme o planejamento constante no Relatório de Plano de Voo, devidamente aprovado pela ANA. Na Figura 22 é mostrada a nuvem de pontos levantada no Perfilamento a Laser da área do açude Santa Inês, na qual não se observa falhas ou buracos, conforme preconiza o Edital.

---

<sup>12</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.

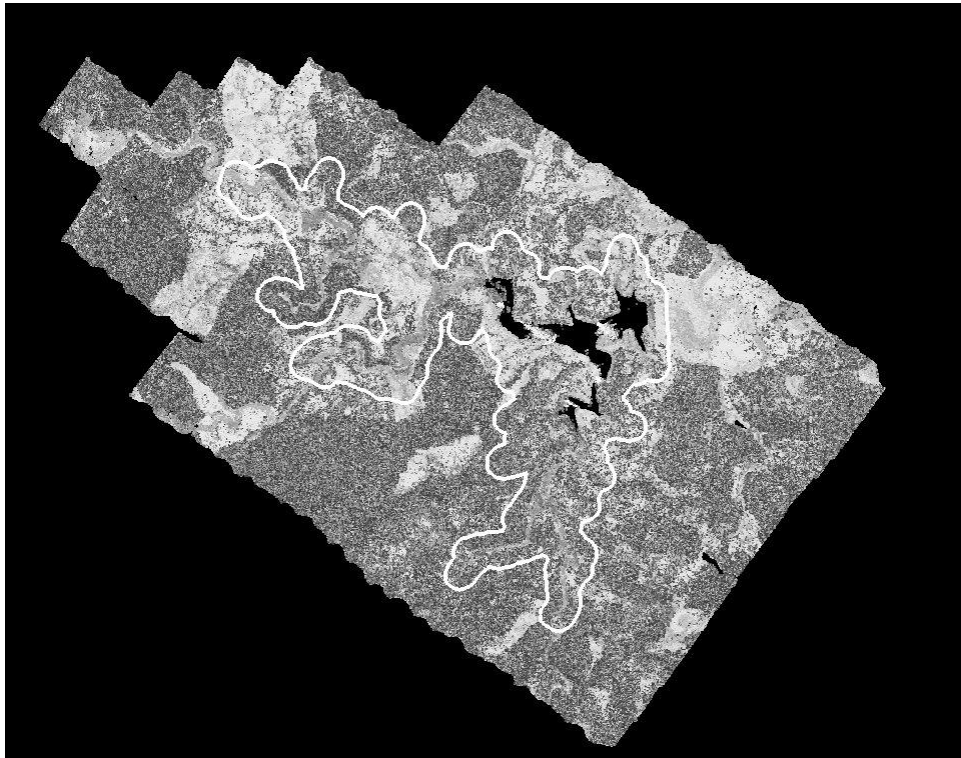


Figura 22 - Cobertura do Perfilamento a Laser

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 Muriti<sup>13</sup>" está localizado na praça da Igreja Matriz da cidade de Mauriti e distante aproximadamente 35 km do açude Santa Inês e está localizado nas coordenadas planas, Norte (N) 9183226,631 m e Este (E) 524725,368 m e Altitude Elipsoidal (H) 360,69 m.

O marco está referenciado ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB/IBGE) através do rastreamento com o marco da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) CRAT- CRATO no SAT-92300, localizado na cidade de Crato.

Para a determinação das coordenadas planimétricas dos marcos pertencentes, foi utilizado o posicionamento GNSS relativo estático, onde no mínimo 2

---

<sup>13</sup> Não está amarrado ao Apoio de Campo Geodésico.

(dois) receptores de dupla frequência, que simultaneamente rastreiam satélites por um período mínimo 1h30 (uma hora e trinta 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 15 e 19 abaixo são apresentadas, 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 23 (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-003 do açude Santa Inês.

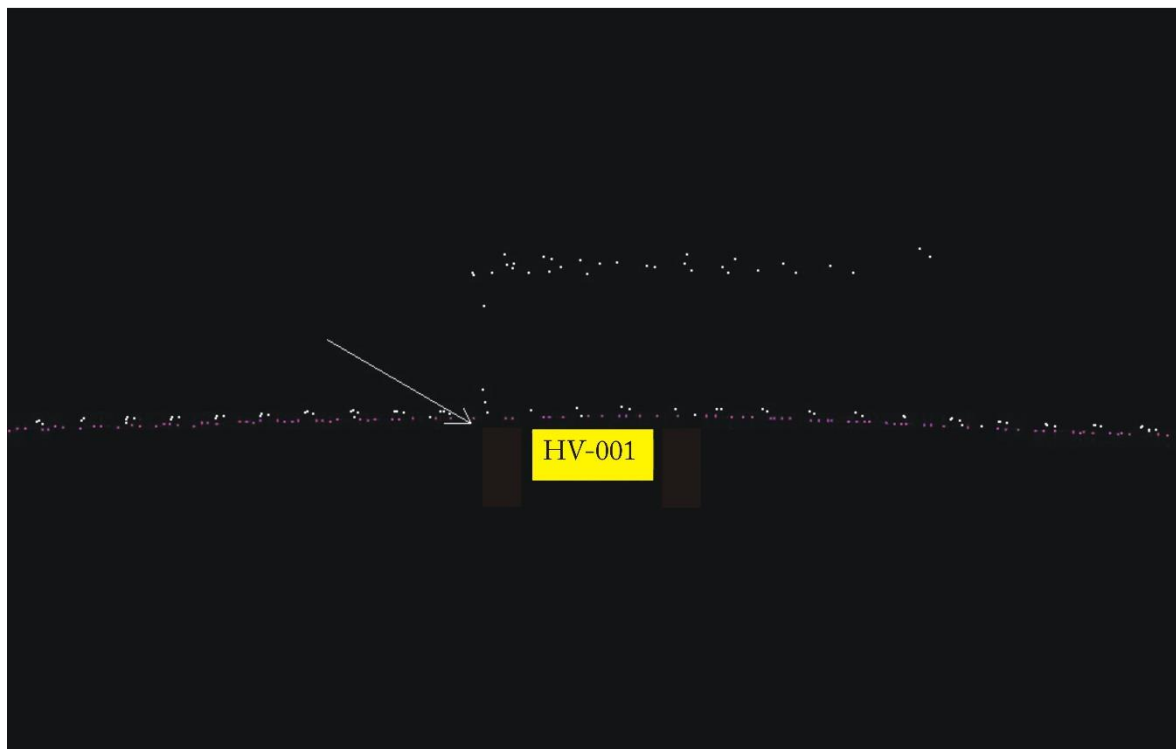


Figura 23 - Controle de Qualidade do Perfilamento a Laser junto ao HV-001

Quadro 15 - 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 Mauriti-CRAT	01:45:07	Fixed, Wide Lane	LEIAT502	2,00	TRM55971.00	0,008	2,235	11	0,041	0,019	0,037	72584,985

Quadro 16 - 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>14</sup>	Std Dev n	Std Dev e	Std Dev u	Control
Base Mauriti	7°23'20,89902"S	38°46'33,42581"W	9183226,631	524725,368	360,693	370,493	-9,80	0,013	0,014	0,037	None

---

<sup>14</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 aerolevantamento digital, conforme Figura 24.

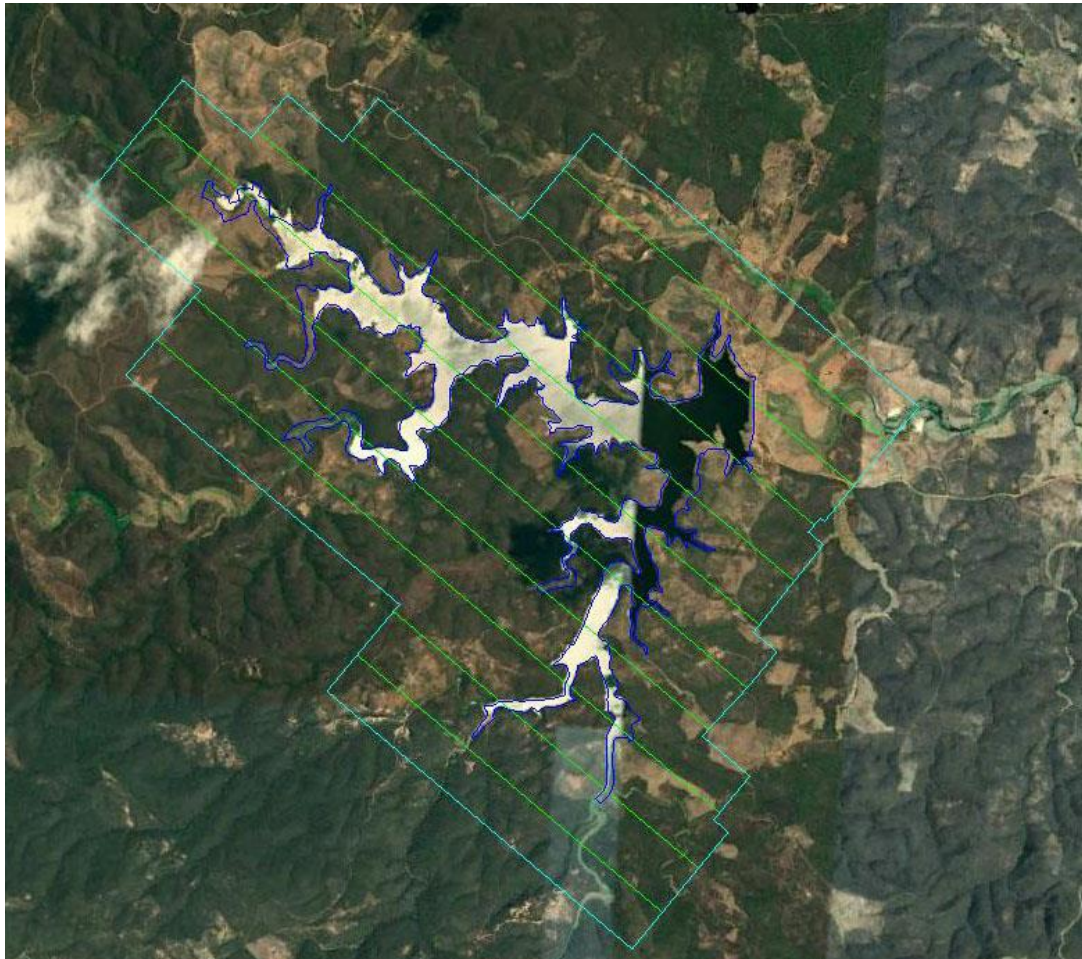


Figura 24 - Plano de Voo gráfico para realizar o Perfilamento a Laser

No Quadro 17 são apresentados os elementos técnicos do Perfilamento a Laser.

Quadro 17 - Elementos Técnicos do Perfilamento a Laser

Aeroporto Base	Altitude Média do Terreno	Altura Média do Voo	Velocidade Aeronave	Quantidade de Faixas
Juazeiro do Norte	490 m	550 m	280 Km/h	10

Para o Perfilamento a Laser do açude Santa Inês, realizado no dia 14 de maio de 2017 no período de 16h45m às 17h16m, não havia 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 Santa Inês 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 4. Neste processo, extraiu-se a coordenada H dos pontos do MDT através do software Global Mapper. A coluna "Diferença" da Tabela 5 corresponde à diferença de altitude entre o ponto de verificação e o ponto extraído do modelo para cada coordenada.

Tabela 4 - Comparação entre pontos de verificação com valores do MDT

PONTOS <sup>15</sup>	E (m)	N (m)	H (m)	H Laser (m)	Diferença (m)	PECD (m)	Validação
HV_001	541033,2	9158082,979	504,153	504,25	0,097	0.54	Aprovado
HV_003	542305,281	9156872,512	442,367	442,39	0,023	0.54	Aprovado

<sup>15</sup> Os pontos HV-002 e 009 estão fora da área do Perfilamento a Laser.





PONTOS <sup>15</sup>	E (m)	N (m)	H (m)	H Laser (m)	Diferença (m)	PECD (m)	Validação
HV_004	543580,352	9158038,238	433,463	433,47	0,007	0.54	Aprovado
HV_005	545060,979	9156865,217	421,642	421,53	-0,112	0.54	Aprovado
HV_006	544379,287	9154951,555	488,289	488,46	0,171	0.54	Aprovado
HV_007	543755,829	9153892,203	441,169	441,11	-0,059	0.54	Aprovado
HV_008	540939,809	9155786,012	447,797	447,95	0,153	0.54	Aprovado
HV_010	542801,169	9157039,605	460,01	460,19	0,18	0.54	Aprovado
HV_014	543874,205	9154341,131	440,194	440,4	0,206	0.54	Aprovado
PC_001	544629,816	9156812,405	445,52	445,44	-0,08	0.54	Aprovado
PC_002	540797,846	9157860,059	433,801	434,04	0,239	0.54	Aprovado
PC_003	542711,884	9157253,178	487,462	487,52	0,058	0.54	Aprovado
PC_004	544618,377	9156790,005	442,694	442,51	-0,184	0.54	Aprovado
PC_005	544623,688	9156401,873	443,169	443,09	-0,079	0.54	Aprovado

Tabela 5 - Análise estatística da comparação dos pontos de controle

Estatística	Valores (m)
Média dH:	+0,045
Mínimo dH:	-0,184
Máximo dH:	+0,239

A partir das análises demonstradas nas Tabela 4 e 5, 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 Santa Inês.

#### 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 25, 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.

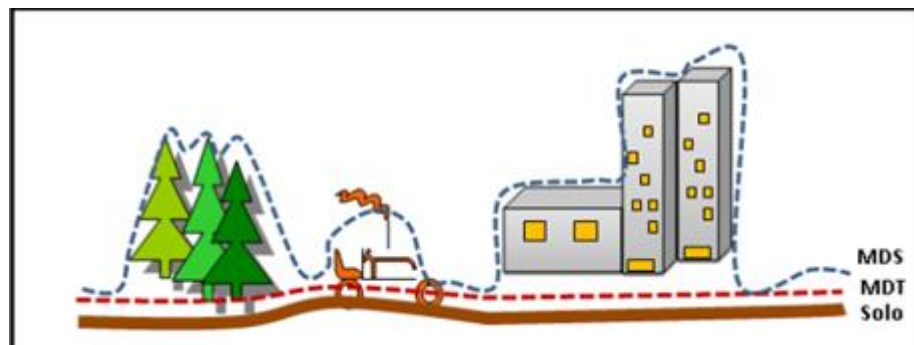


Figura 25 - Tipos de representação digital de superfície

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 Santa Inês, 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 Santa Inês, 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 6 km<sup>2</sup>. Este processamento é realizado através do software SCOP++ (família INPHO), no qual é inserido o MDT e são geradas as curvas de nível (Figura 26).

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 26 - Amostra das Curvas de Nível geradas para o Açude Santa Inês



## 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 Santa Inês, é de 1cm, desde a cota mínima levantada até a cota cujo valor é 2 (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 possível) acima da cota de sangria, conforme solicita o item 12.2.1 da Especificação Técnica.

Para o açude Santa Inês, os valores utilizados para o processamento dos dados da CAV constam no Quadro 18.



Quadro 18 - Dados altimétricos do açude Santa Inês considerando o SGB

Cotas	Valores (em metros)
<b>Cota Máxima (Sangria)<sup>16</sup></b>	439,49
<b>Cota Mínima (TIN)</b>	414,17

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

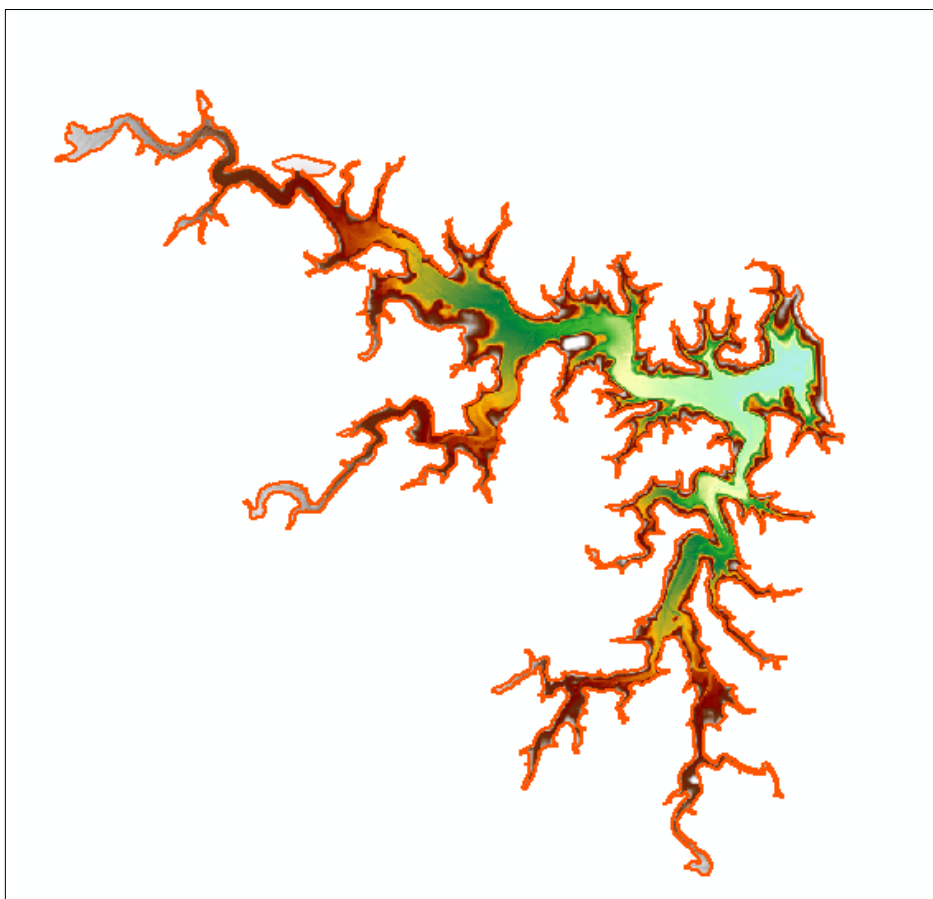


Figura 27 - Imagem (.tif) gerada para o açude Santa Inês a partir da construção do TIN, para inserir no processamento da CAV

<sup>16</sup> Devido às limitações dos dados laser, considera-se como correto os dados obtidos da Curva Cota x Área x Volume até cota 434,95m por apresentarem mensurações mais coerentes para este reservatório.





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 18. Na Figura 28 é apresentado um trecho do arquivo de saída deste processamento.



CAVL\_Santales.txt - Bloco de notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

```
Dataset; Plane_Height; Reference; Z_Factor; Area_2D; Area_3D; Volume;
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 100,00; below; 1,000000; 3110338,5179275; 3245139,4158889; 29684040,746154
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,99; below; 1,000000; 3108265,6137976; 3242899,8987365; 29652946,317294
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,98; below; 1,000000; 3106177,2974267; 3240644,984022; 29621874,166549
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,97; below; 1,000000; 3104061,069319; 3238362,1765994; 29590823,216582
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,96; below; 1,000000; 3101929,6247831; 3236064,1659907; 29559792,24198
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,95; below; 1,000000; 3099807,823938; 3233775,8140141; 29528784,506846
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,94; below; 1,000000; 3097664,9727845; 3231466,4223218; 29497795,372278
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,93; below; 1,000000; 3095520,7481198; 3229155,6704486; 29466830,758294
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,92; below; 1,000000; 3093360,0814057; 3226828,4855962; 29435884,509382
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,91; below; 1,000000; 3091193,9227483; 3224495,8213495; 29404961,586016
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,90; below; 1,000000; 3089043,5804636; 3222178,9883966; 29374056,248502
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,89; below; 1,000000; 3086904,3330958; 3219873,2726611; 29343175,178927
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,88; below; 1,000000; 3084787,8076231; 3217590,2999234; 29312312,269126
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,87; below; 1,000000; 3082679,6870299; 3215315,7578398; 29281475,220371
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,86; below; 1,000000; 3080583,8278183; 3213053,5038632; 29250656,844503
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,85; below; 1,000000; 3078525,1837957; 3210828,4924444; 29219860,867627
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,84; below; 1,000000; 3076467,6111008; 3208604,5927003; 29189082,551281
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,83; below; 1,000000; 3074421,835003; 3206392,5279948; 29158327,414619
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,82; below; 1,000000; 3072381,65282; 3204186,0922046; 29127592,203532
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,81; below; 1,000000; 3070339,1650378; 3201977,397485; 29096877,333723
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,80; below; 1,000000; 3068304,3336087; 3199776,4122315; 29066182,378407
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,79; below; 1,000000; 3066258,0320651; 3197564,0057973; 29035511,174395
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,78; below; 1,000000; 3064205,8860497; 3195345,7981985; 29004859,731526
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,77; below; 1,000000; 3062143,2730424; 3193117,1670341; 28974231,055613
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,76; below; 1,000000; 3060068,4036302; 3190876,3364474; 28943621,204058
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,75; below; 1,000000; 3057990,0143263; 3188632,0244412; 28913035,539469
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,74; below; 1,000000; 3055868,0671457; 3186344,1870906; 28882466,197605
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,73; below; 1,000000; 3053719,2075949; 3184029,4637226; 28851923,148687
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,72; below; 1,000000; 3051600,9762538; 3181745,3967177; 28821400,038565
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,71; below; 1,000000; 3049499,5242724; 3179478,1448521; 28790891,552651
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,70; below; 1,000000; 3047358,3891492; 3177171,2437965; 28760402,310653
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,69; below; 1,000000; 3045191,4705039; 3174838,5928635; 28729942,180183
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,68; below; 1,000000; 3043094,0170134; 3172575,4438786; 28699504,868135
,,l\UDE_AcudeSantaInes_Local.tif; 99,67; below; 1,000000; 3041029,3836813; 3170345,1510087; 28669083,469945
```

Figura 28 – 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 Santa Inês, 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 339,487m 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 régua linimétrica presente no barramento do açude Santa Inês.

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 339,487m 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



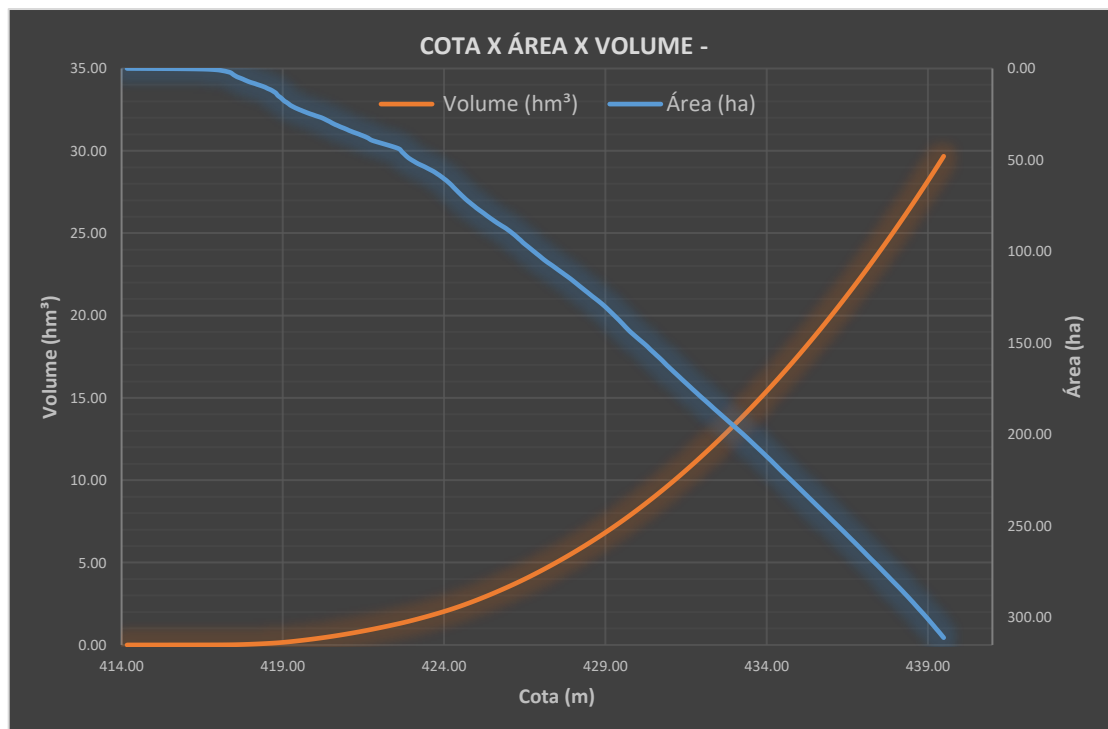
deste Relatório Técnico. Conforme consta na Especificação Técnica, o plano de corte será considerado em passo de 1cm e os valores máximo e mínimo considerados estão presentes no Quadro 19.

Quadro 19 - Dados altimétricos do açude Santa Inês considerando a cota altimétrica arbitrária local

Cotas	Valores (em metros)
<b>Cota Máxima (Sangria)<sup>17</sup></b>	100,00
<b>Cota Mínima (TIN)</b>	74,68

### 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 29 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.



<sup>17</sup> Devido às limitações dos dados laser, considera-se como correto os dados obtidos da Curva Cota x Área x Volume até cota 95,46m por apresentarem mensurações mais coerentes para este reservatório.



Figura 29 - Gráfico da CAV – SGB

No Anexo I são apresentados os valores da Cota x Área X Volume para o intervalo definido de 414,17 até 439,49m, considerando o SGB.

Na Figura 30 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.

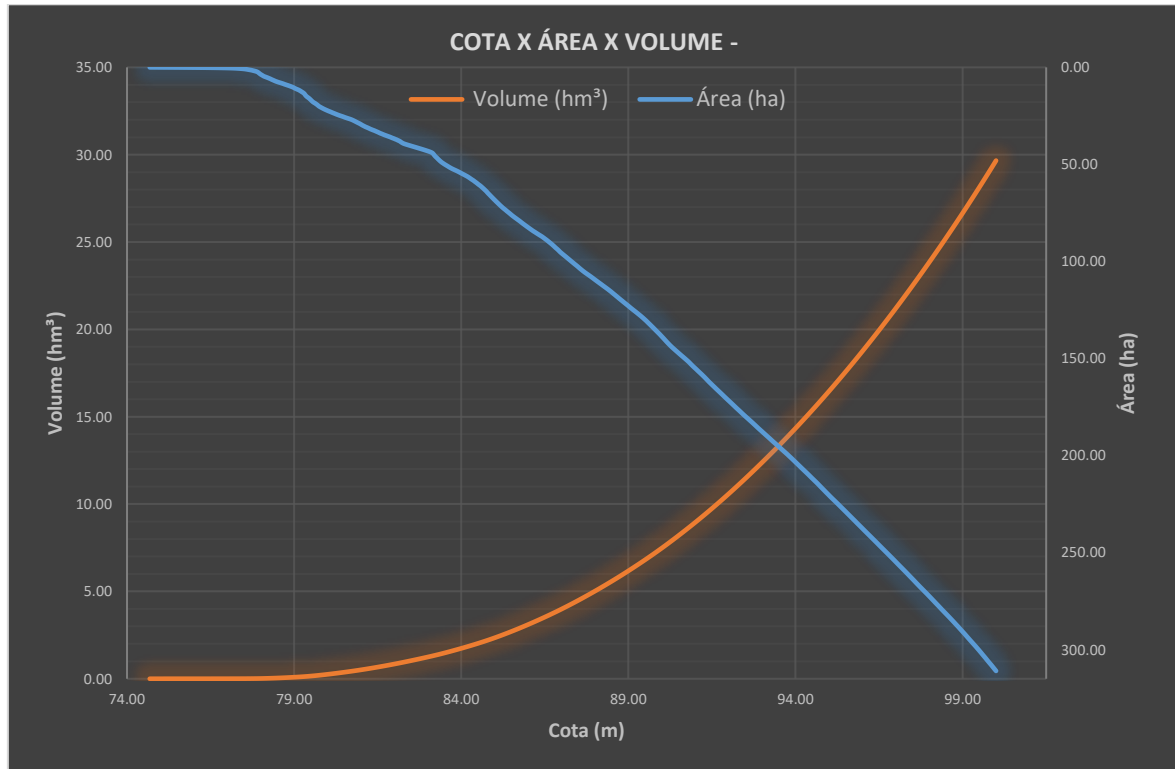


Figura 30 - Gráfico da CAV – Nível altimétrico local

No Anexo II são apresentados os valores da Cota x Área X Volume para o intervalo de 74,68 até 100,00m, considerando a cota altimétrica local.

#### 12.3.1. Comparação CAV Local com dados utilizados atualmente pela ANA e pelo Governo do Estado da Paraíba

Na Figura 31 é apresentada a Ficha Técnica do açude Santa Inês, utilizada atualmente para a gestão daquele recurso hídrico. Naquele documento as cotas são apresentadas de 1 em 1 metro, entre as cotas de 73,00 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 20. Cabe lembrar da resolução centimétrica do dado gerado, proporcionando a gestão mais eficiente e precisa do açude Santa Inês.





## GOVERNO DA PARAIBA

Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia - SERHMACT

Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba - AESA

### Dados Básicos do Reservatório Santa Inês

Cota (m)	Área (m²)	Volume (m³)
73	0,00	0,00
74	2.500,00	1.250,00
75	7.500,00	6.250,00
76	16.500,00	18.250,00
77	52.500,00	82.780,00
78	110.000,00	134.000,00
79	206.250,00	292.125,00
80	295.500,00	548.000,00
81	347.750,00	864.625,00
82	406.500,00	1.241.750,00
83	464.000,00	1.677.000,00
84	556.250,00	2.187.125,00
85	726.750,00	2.828.625,00
86	781.250,00	3.582.625,00
87	885.000,00	4.415.750,00
88	975.000,00	5.345.750,00
89	1.066.250,00	6.366.375,00
90	1.267.750,00	7.533.375,00
91	1.387.500,00	8.861.000,00
92	1.482.500,00	10.296.000,00
93	1.584.000,00	11.829.250,00
94	1.675.000,00	13.458.750,00
95	1.853.250,00	15.222.875,00
96	2.035.000,00	17.167.000,00
97	2.112.500,00	19.240.750,00
98	2.198.750,00	21.396.375,00
99	2.324.500,00	23.658.000,00
100	2.590.000,00	26.115.250,00

Bacia hidrográfica: Piancó

Curso barrado: Riacho Santa Inês

Município: Santa Inês

Área da bacia hidrográfica não controlada (km²): 103,91

Localização: UTM (24M) 544600; 9156700

Carta (1:100000): São José do Belmonte (1285)

Volume máximo (m³): 26115250,00

Volume morto (m³): 864625,00

Posto pluviométrico representativo: Concelção (3852197)

Evaporação representativa: Sousa

Evapotranspiração (mm)

jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
195	151	133,3	129	124	120	136	164,3	180	198,4	195	204,6

Figura 31 - Ficha Técnica vigente do açude Santa Inês



Quadro 20 - Comparação dos valores de área e volume para a CAV local gerada pelo consórcio ARV e a utilizada atualmente pela ANA e Governo da Paraíba.

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> )
73,00	-	0,00	-	0,00
74,00	-	2.500,00	-	1.250,00
75,00	306,88	7.500,00	45,80	6.250,00
76,00	1.261,27	16.500,00	802,13	18.250,00
77,00	3.338,45	52.500,00	2.865,27	82.780,00
78,00	36.314,16	110.000,00	14.202,09	134.000,00
79,00	105.760,97	206.250,00	87.054,92	292.125,00
80,00	223.190,35	295.500,00	253.130,89	548.000,00
81,00	294.302,34	347.750,00	510.119,06	864.625,00
82,00	370.131,02	406.500,00	843.696,32	1.241.750,00
83,00	448.986,80	464.000,00	1.255.048,85	1.677.000,00
84,00	545.987,08	556.250,00	1.752.865,40	2.187.125,00
85,00	684.029,60	726.750,00	2.358.916,34	2.828.625,00
86,00	825.093,21	781.250,00	3.117.253,31	3.582.625,00
87,00	957.985,43	885.000,00	4.003.813,97	4.415.750,00
88,00	1.094.507,04	975.000,00	5.031.911,27	5.345.750,00
89,00	1.229.794,46	1.066.250,00	6.192.278,00	6.366.375,00
90,00	1.387.301,13	1.267.750,00	7.496.378,24	7.533.375,00
91,00	1.551.086,41	1.387.500,00	8.967.453,00	8.861.000,00
92,00	1.717.760,48	1.482.500,00	10.602.077,99	10.296.000,00
93,00	1.877.147,59	1.584.000,00	12.399.939,87	11.829.250,00
94,00	2.034.529,79	1.675.000,00	14.354.776,24	13.458.750,00
95,00	2.204.818,41	1.853.250,00	16.473.210,32	15.222.875,00
96,00	2.375.891,48	2.035.000,00	18.762.938,37	17.167.000,00
97,00	2.548.358,38	2.112.500,00	21.224.634,63	19.240.750,00
98,00	2.725.213,98	2.198.750,00	23.861.092,74	21.396.375,00
99,00	2.908.160,63	2.324.500,00	26.676.779,34	23.658.000,00
100,00	3.110.338,52	2.590.000,00	29.684.040,75	26.115.250,00

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 da Paraíba, são apresentados no Quadro 21 a diferença dos valores em metros quadrados e porcentagem para cada cota analisada.





Quadro 21 - Diferença comparativa dos valores de área do açude Santa Inês

Cota (m) de comparação	Área – CAV Local (m <sup>2</sup> )	Área – CAV Vigente (m <sup>2</sup> )	Diferença (m <sup>2</sup> ) <sup>18</sup>	Diferença (%) <sup>19</sup>
73	-	0,00	-	-
74	-	2.500,00	-	-
75	306,88	7.500,00	-7.193,12	-95,91
76	1.261,27	16.500,00	-15.238,73	-92,36
77	3.338,45	52.500,00	-49.161,55	-93,64
78	36.314,16	110.000,00	-73.685,84	-66,99
79	105.760,97	206.250,00	-100.489,03	-48,72
80	223.190,35	295.500,00	-72.309,65	-24,47
81	294.302,34	347.750,00	-53.447,66	-15,37
82	370.131,02	406.500,00	-36.368,98	-8,95
83	448.986,80	464.000,00	-15.013,20	-3,24
84	545.987,08	556.250,00	-10.262,92	-1,85
85	684.029,60	726.750,00	-42.720,40	-5,88
86	825.093,21	781.250,00	43.843,21	5,61
87	957.985,43	885.000,00	72.985,43	8,25
88	1.094.507,04	975.000,00	119.507,04	12,26
89	1.229.794,46	1.066.250,00	163.544,46	15,34
90	1.387.301,13	1.267.750,00	119.551,13	9,43
91	1.551.086,41	1.387.500,00	163.586,41	11,79
92	1.717.760,48	1.482.500,00	235.260,48	15,87
93	1.877.147,59	1.584.000,00	293.147,59	18,51
94	2.034.529,79	1.675.000,00	359.529,79	21,46
95	2.204.818,41	1.853.250,00	351.568,41	18,97
96	2.375.891,48	2.035.000,00	340.891,48	16,75
97	2.548.358,38	2.112.500,00	435.858,38	20,63
98	2.725.213,98	2.198.750,00	526.463,98	23,94
99	2.908.160,63	2.324.500,00	583.660,63	25,11
100	3.110.338,52	2.590.000,00	520.338,52	20,09

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

<sup>19</sup> Cálculo realizado cota por cota, através da fórmula:  $\left( \frac{CAV Local - CAV Vigente}{CAV Vigente} \right) * 100$



As maiores diferenças absolutas em **Área** estão relacionadas nas cotas extremas do açude. Na cota 75,00m observa-se uma redução superficial de 95,91%, que diminuem até a cota 85,00m. A partir desta cota observa-se um comportamento diferente ao anterior, no qual há um acréscimo superficial sistemático que varia entre 5,61 e 25,11%, porém não guardando uma variação lógica com a variação de cota. Destaca-se que na cota de sangria (100,00m) observa-se um aumento superficial de 20,09%. Além disso, as menores diferenças estão concentradas entre as cotas 84,00 e 86,00m.

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).

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 do Paraíba, são apresentados no Quadro 22 a diferença dos valores em metros cúbicos e porcentagem para cada cota analisada.

Quadro 22 - Diferença comparativa dos valores de volume do açude Santa Inês

Cota (m) de comparação	Volume – CAV Local (m³)	Volume – CAV Vigente (m³)	Diferença (m³) <sup>20</sup>	Diferença (%) <sup>21</sup>
73	-	0,00	-	-
74	-	1.250,00	-	-
75	45,80	6.250,00	-6.204,20	-99,27
76	802,13	18.250,00	-17.447,87	-95,60
77	2.865,27	82.780,00	-79.914,73	-96,54
78	14.202,09	134.000,00	-119.797,91	-89,40
79	87.054,92	292.125,00	-205.070,08	-70,20
80	253.130,89	548.000,00	-294.869,11	-53,81
81	510.119,06	864.625,00	-354.505,94	-41,00
82	843.696,32	1.241.750,00	-398.053,68	-32,06
83	1.255.048,85	1.677.000,00	-421.951,15	-25,16
84	1.752.865,40	2.187.125,00	-434.259,60	-19,86
85	2.358.916,34	2.828.625,00	-469.708,66	-16,61
86	3.117.253,31	3.582.625,00	-465.371,69	-12,99
87	4.003.813,97	4.415.750,00	-411.936,03	-9,33

<sup>20</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 (m <sup>3</sup> )	Volume – CAV Vigente (m <sup>3</sup> )	Diferença (m <sup>2</sup> ) <sup>20</sup>	Diferença (%) <sup>21</sup>
88	5.031.911,27	5.345.750,00	-313.838,73	-5,87
89	6.192.278,00	6.366.375,00	-174.097,00	-2,73
90	7.496.378,24	7.533.375,00	-36.996,76	-0,49
91	8.967.453,00	8.861.000,00	106.453,00	1,20
92	10.602.077,99	10.296.000,00	306.077,99	2,97
93	12.399.939,87	11.829.250,00	570.689,87	4,82
94	14.354.776,24	13.458.750,00	896.026,24	6,66
95	16.473.210,32	15.222.875,00	1.250.335,32	8,21
96	18.762.938,37	17.167.000,00	1.595.938,37	9,30
97	21.224.634,63	19.240.750,00	1.983.884,63	10,31
98	23.861.092,74	21.396.375,00	2.464.717,74	11,52
99	26.676.779,34	23.658.000,00	3.018.779,34	12,76
100	29.684.040,75	26.115.250,00	3.568.790,75	13,67

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 91,00m. De uma maneira geral, a partir da cota 87,00m, observa-se um comportamento de redução mais harmônico e suave, com uma redução volumétrica média de 9%. A partir da cota 91,00m até a sangria observa-se um incremento no volume do açude, chegando-se a uma diferença de 13,67% naquela cota.

Ao analisar de forma integrada o Quadro 21 (cota x área) e o Quadro 22 (cota x volume) é possível inferir que os maiores incrementos volumétricos observados ocorreram entre em cotas elevadas (97,00m e 100,00m), onde ocorreram os maiores incrementos superficiais. Já, nas cotas baixas do reservatório, as reduções superficiais e volumétricas guardam uma certa correlação.



### 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 Relatório do Modelo Digital de Terreno e CAV\_Anexo\_I



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

---

Estão no arquivo Relatório do Modelo Digital de Terreno e CAV\_Anexo\_II

