GRUPO ELETROGOES S/A

Atualização da Curva Cota x Área x Volume em Atendimento à Resolução Conjunta ANEEL/ANA nº 03/2010 da UHE RONDON II

Elaboração:

PB HIDROMETRIA & TOPOGRAFIA
Excelência desde a nascente

Bruno Silva Martins
(65) 3052-9887 · 9 9242-9987 · 3358-4615
bruno@pbhidrometria.com.br
Rua da Lapa n 409, São João dos Lázaros
Cep.: 78.008-830 - Cuiabá/MT
www.pbhidrometria.com.br

ELABORAÇÃO: **Dr. Kenny Delmonte Oliveira**[1] CREA Nacional: 101517759-0 CREA Regional: 1015177590D-GO / 329933TO Endereço CL: http://lattes.cnpq.br/4144968272191172	**SÚMULA CURRICULAR:** ▪ Eng. Florestal (2011-UEG); ▪ Eng. Segurança do Trabalho (2022-Unyleya) ▪ Dr. Sensoriamento Remoto (2019-INPE); ▪ MSc. Ciências Florestais - Meio Ambiente e Recursos Hídricos (2014-UFES); ▪ Esp. Drones e Vants (RPA) em Aplicações Civis e Comerciais (2020-PUC-PR); ▪ Esp. Georreferenciamento de Imóveis Rurais (2021-Unyleya).

Pimenta Bueno - RO

Agosto-2025

[1] Para comprovar a autenticidade da assinatura acesse: https://verificador.iti.gov.br

SUMÁRIO

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 1

2 INTRODUÇÃO 4

3 OBJETIVOS 5

3.1 OBJETIVO GERAL 5

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 5

4 TERMOS E DEFINIÇÕES 6

5 RESULTADOS 8

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE DE ESTUDO 8

5.1.1 Dados básicos da unidade de estudo 8

5.2 CLASSIFICAÇÃO DO RESERVATÓRIO QUANTO AO POTENCIAL DE ASSOREAMENTO 10

5.2.1 Potencial de Produção de Sedimentos da Bacia Hidrográfica do Empreendimento Hidrelétrico .. 10

5.2.1.1 Obtenção, consistência e modelagem das medições de descarga sólida 10

5.2.1.1.1 Validação dos dados de descarga sólida 10

5.2.1.1.2 Detecção de outliers 11

5.2.1.2 Potencial de produção de sedimentos da bacia hidrográfica (Pss) 11

5.2.1.3 Posição do Reservatório na Cascata (Prc) 14

5.2.1.3.1 Delimitação de bacias hidrográfica 14

5.2.1.4 Regime de Operação do Reservatório (Ror) 16

5.2.1.5 Magnitude e Importância dos Efeitos do Assoreamento (MI) 17

5.2.1.6 Determinação do Nível de Criticidade 18

5.3 IMPLANTAÇÃO DA REDE DE VÉRTICES GEODÉSICOS (RVG) 19

5.3.1 Nivelamento geométrico 23

5.3.1.1 Nível digital 24

5.3.2 Posicionamento por GNSS 27

5.3.3 Elaboração do Modelo Geoidal Local (MGL) 33

5.4 BATIMETRIA 38

5.4.1 Ecobatímetro South SDE-28S 38

5.4.2 Mapeamento da Área Molhada do Reservatório 40

5.4.3 Implantação das Seções de Controle: Localização e Quantidade 49

5.5 MAPEAMENTO DA ÁREA SECA DO RESERVATÓRIO 56

5.5.1 Aerolevantamento com aeronave remotamente pilotada 56

5.5.1.1 Planejamento de voo 57

5.5.1.2 *Georreferenciamento de pontos de apoio e de validação* 58

5.5.1.3 *Remotely Piloted Aircraft* (RPA) 59

5.5.1.3.1 Sensor 60

5.5.1.4 Operação de voo 61

5.5.1.5 Pós-voo 61

5.5.1.5.1 Processamento e Avaliação de Ortomosaico 61

5.5.1.5.1.1 Calibração da câmera 63
5.5.1.5.2 Controle de qualidade posicional em dados espaciais oriundos de aerolevantamento fotogramétrico 66
5.5.1.5.2.1 Registro das Imagens 67
5.5.1.5.2.2 Análise de tendência 69
5.5.1.5.2.3 Análise de precisão 70
5.5.1.5.2.4 Relatório do processamento para avaliação do padrão de acurácia posicional 71
5.6 LEVANTAMENTO DO CONTORNO DO RESERVATÓRIO 75
5.7 MODELO DIGITAL DO RESERVATÓRIO 76
5.7.1 Definição do método de interpolação dos dados planialtimétrico e batimétricos 76
5.7.1.1 Definição do método de interpolação dos dados planialtimétrico e batimétricos 76
5.7.1.1.1 Árvore de decisão para seleção do método de interpolação 77
5.7.1.2 Seleção de índices diagnósticos de desempenho 78
5.7.1.3 Ajuste da variação de nível do reservatório 81
5.7.1.4 Modelo digital de elevação 83
5.7.1.4.1 Aparente inconsistência no MDE 86
5.7.1.4.2 Análise estatística dos resíduos das estimativas 86
5.7.1.4.2.1 Análise da Relação entre Batimetria e Erro 86
5.7.1.4.2.2 Distribuição dos Erros Batimétricos 90
5.8 AJUSTE DA CURVA COTA X ÁREA X VOLUME 92
5.9 RELAÇÃO ENTRE O REFERENCIAL DE NÍVEL ATUAL E O REFERENCIAL DE NÍVEL DE PROJETO 96
6 PRODUTOS ENTREGUES 102
7 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO-NORMATIVO 104

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O conhecimento do comportamento hidrossedimentológico de uma bacia hidrográfica é fundamental para a adequada gestão de seus recursos hídricos, bem como para o suporte à decisão sobre o desenvolvimento de atividades antrópicas. O acompanhamento dos fluxos de sedimentos ocorridos em um dado local da bacia permite o diagnóstico de eventuais impactos em sua área de drenagem ao longo do tempo, podendo tornar-se importante indicador ambiental.

No caso das barragens construídas ao longo dos cursos d'água, os estudos hidrossedimentológicos são importantes para avaliar a vida útil da obra bem como a necessidade de medidas mitigadoras para otimizar o seu uso. Os sedimentos também exercem grande influência nos demais parâmetros de qualidade das águas, uma vez que, ao serem transportados para os cursos d'água, carregam consigo outros elementos que podem prejudicar a comunidade aquática, tais como a adsorção a metais pesados.

Os sedimentos transportados pelos rios são consequências da ação da água nas vertentes da bacia e no próprio canal fluvial. Sua quantidade e tipologia dependem das características do funcionamento da bacia fluvial, quando em situação natural, e das modificações impostas pela atividade humana quando em situação de ocupação antrópica.

Os cursos d'água normalmente apresentam um equilíbrio em relação aos sedimentos. No entanto, quando é construída uma barragem, o equilíbrio se modifica a partir da área de remanso do reservatório. O fluxo natural de sedimentos, ao encontrar águas com menor velocidade, começa a se depositar, sendo o processo iniciado pelas partículas mais pesadas. Na entrada do reservatório, as áreas das seções transversais aumentam gradualmente, o que faz decrescer as velocidades, criando as condições para a deposição de sedimentos. As partículas mais pesadas, como pedregulhos e areias grossas, são as primeiras a se depositarem, enquanto o sedimento mais fino adentra ao reservatório. A barragem constitui um impedimento à passagem da maior parte das partículas para jusante, o que pode ocorrer com o escoamento pelo vertedouro e/ou pelos condutos. Assim, o reservatório se comporta como um eficiente meio de retenção de sedimentos (CARVALHO et al., 2000ª).

Dentre os problemas narrados acima, o mais preocupante é o depósito de sedimento no reservatório, provocando o assoreamento gradual do mesmo. Vários fatores influenciam na formação dos depósitos, sendo que os principais são: quantidade de sedimentos afluentes, eficiência de retenção do sedimento no reservatório, densidade dos depósitos e volume de sedimento depositado. Os fatores que contribuem para a produção e para o transporte dos sedimentos são diversos, podendo-se citar os seguintes principais: quantidade, duração e intensidade das chuvas; tipo de solo e formação geológica; cobertura e uso do solo; topografia; erosão das terras; escoamento superficial; características dos sedimentos; e condições morfológicas do canal.

À medida que o assoreamento se faz presente no corpo hídrico, a capacidade do reservatório diminui, enquanto a influência do remanso se intensifica para montante, as velocidades no lago aumentam e maior quantidade de sedimentos passa a

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

escoar para jusante, diminuindo a eficiência de retenção de partículas. Esse processo é dinâmico, sendo que o rio ou procura refazer o equilíbrio original perdido ou busca outra forma de atingir estabilidade. Isso é parte do processo natural do assoreamento de um reservatório, sendo o fenômeno mais complexo que o acima explicado (CARVALHO et al., 2000b).

Os depósitos de sedimentos num reservatório provocam aumento do nível d'água proporcional ao volume ocupado por eles. Nesse caso, mais água passará pelo vertedouro, reduzindo assim a regularização prevista para o aproveitamento. Com essa elevação do nível, é requerido um maior tempo de operação das máquinas para gerar energia e aproveitar a água, se solicitada maior geração. Em caso contrário, a água será perdida, não gerando a energia inicialmente planejada.

Muitos problemas devidos aos sedimentos depositados podem ocorrer muito antes daqueles mais severos por causa da grande perda de capacidade do lago. Isso pode ser observado tanto para pequenos quanto para grandes reservatórios. O desequilíbrio provocado por um barramento afeta tanto a montante quanto a jusante do mesmo (Figura 1).

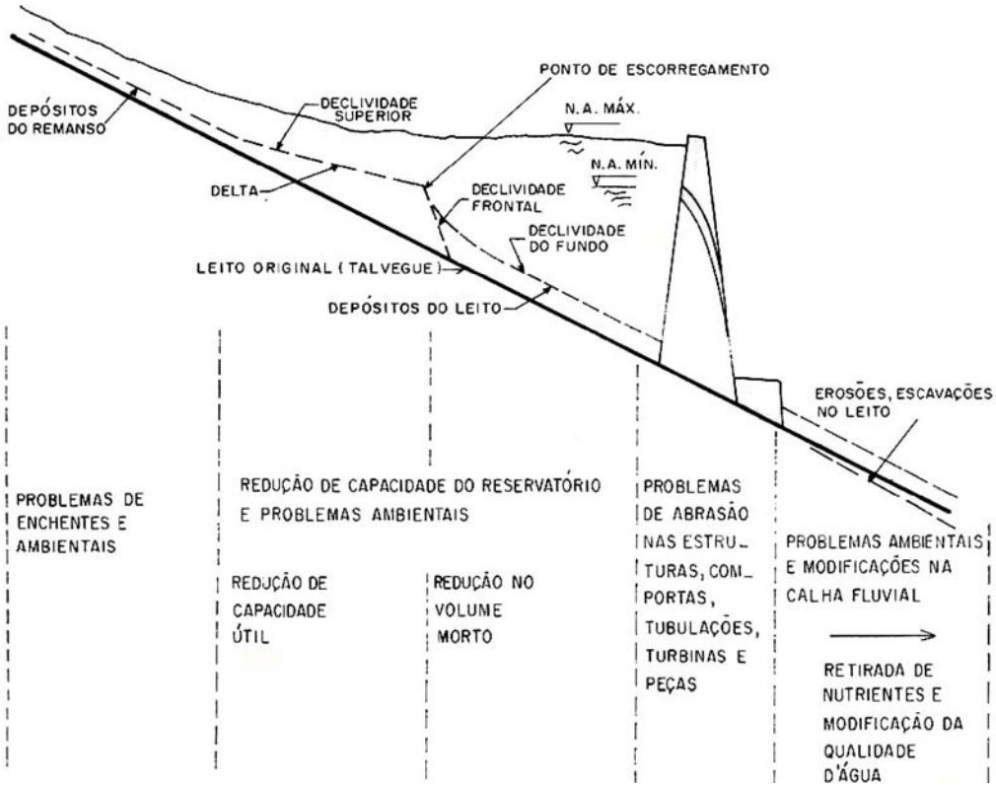


Figura 1 – Esquema de formação de depósitos de sedimentos nos reservatórios, com indicação dos principais problemas decorrentes (CARVALHO et al., 2000ª).

A quantidade de sólidos levados por arraste, rolamento ou saltação (carga de fundo) é uma importante variável para a estimativa da vida útil de um reservatório, e para a avaliação das transformações que o canal fluvial poderá sofrer na parte imediatamente a montante do remanso do corpo de água formado pela barragem. Além disso, caso parte desse material venha a chegar à barragem, os grãos poderão passar pelas tomadas de água e provocar um desgaste adicional nas turbinas que vierem a atingir.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

Por outro lado, a retenção da carga de fundo, pode provocar significativas mudanças na parte do canal situada à jusante, pois uma vez que a água vertida não dispõe de sedimentos para transportar, ela não gastará energia para essa finalidade e poderá aumentar sua velocidade de fluxo. Além disso, quando o rio dispõe de leito móvel, o corte do suprimento sedimentar poderá provocar a remoção dos depósitos de fundo. Ambos os efeitos combinados poderão resultar no aprofundamento do canal fluvial (CARVALHO et al., 2000b).

A quantidade de sólidos levados em suspensão também pode contribuir para o assoreamento do reservatório, quando sua geometria assim o permitir. A grande extensão e os altos tempos de residência de alguns reservatórios fazem com que praticamente todo o material suspenso fique retido no reservatório.

A maior parte dos grandes reservatórios é responsável pela retenção das frações de maior calibre da carga em suspensão. Nesse caso, uma das consequências é o aumento da transparência das águas do reservatório e das águas a jusante. Graças a isso a predação pode aumentar atraindo turistas. Outra consequência é a redução do aporte de sedimentos na(s) planície(s) de inundação situada(s) rio abaixo, com consequências geomorfológicas e ambientais graves uma vez que os sedimentos que são transportados em suspensão são ricos em nutrientes que estão adsorvidos nos grão dos sedimentos.

Contudo, o transporte sedimentar é muito variável, seja no tempo ou no espaço. Ao longo do tempo, a quantidade de sedimentos transportada normalmente está associada à descarga fluvial. Em canais livres e com suprimento de sedimentos, o transporte de fundo aumenta conforme o aumento da descarga líquida graças ao aumento da capacidade e competência das águas do rio. Contudo, o transporte de sedimentos em suspensão pode não acompanhar o aumento da vazão, um exemplo disso é o que ocorreu no rio Paraná, antes da barragem de Porto Primavera, o aumento do transporte por suspensão ocorria principalmente no início do evento de cheias, vindo a diminuir após alguns dias, embora a descarga líquida continuasse elevada ou ainda aumentando(CARVALHO et al., 2000ª).

Sendo assim, o estudo hidrossedimentológico de um rio exige que a coleta desse tipo de informação seja feita em diferentes momentos, para que a variabilidade temporal seja avaliada, e em diferentes locais, para que a variabilidade longitudinal também o seja. No caso de uma barragem, a avaliação espacial deve ser efetuada desde a parte situada à montante do remanso do reservatório até a parte situada à jusante do eixo do empreendimento.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

2 INTRODUÇÃO

O presente documento descreve os materiais, métodos resultados e discussão para modelagem 3D do reservatório de Rondon 2. Para tanto, seguiu-se as diretrizes preconizadas nas Orientações Para Atualização das Curvas Cota x Área x Volume da Agência Nacional de Águas (ANA, 2013).

O objeto de estudo é compreendido pela usina despachada centralizadamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) UHE Rondon II do Grupo Eletrogoes S/A com o CNPJ 329.231.87/0001-91, que está localizada no rio Comemoração, estado de Rondônia, com reservatório a fio d'água a jusante da PCH Cachoeira.

O estudo de um reservatório é resultado da interação de todos os componentes do ciclo hidrológico, entre a ocorrência da precipitação e a vazão na bacia hidrográfica. Deve-se considerar como o fator mais importante na necessidade de levantamento de reservatório a estimativa de maior quantidade de sedimento depositado, reservatórios com alto valor de carga sólida afluente, sujeitos a serem assoreados em menor tempo, devem ser levantados mais frequentemente (VANONI, 1977 citado por CARVALHO et al., 2000ª). Por outro lado, reservatórios que diminuem a capacidade de acumulação terão a frequência diminuída. Sendo assim, o conhecimento da quantidade de assoreamento no reservatório torna-se uma necessidade, sendo obtidos através de levantamentos batimétricos e geofísicos, bem como o monitoramento sedimentométrico.

Frente ao exposto, o documento foi estruturado para descrição da sequência metodológica baseada em conceitos amplamente validados. Contudo, elaborou-se um texto que em sua essência é composto de embasamento técnico-normativo, sucedido pela descrição das etapas de planejamento, obtenção, análise, processamento, consistência e validação de dados espaciais, além de derivação de subprodutos.

As amostragens obtidas pelos métodos propostos apresentaram exatidão aceitável e erro admissível para o cumprimento do propósito de geração de um modelo digital do terreno e derivação de subprodutos e características morfométricas, calculados mediante elevado rigor técnico-metodológico e de relevante aptidão para auxílio na tomada de decisões referentes ao planejamento para gestão espacial de uso e cobertura do solo e análises ambientais.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Execução de levantamento geodésico para geração de modelo digital do terreno do corpo hídrico referente ao reservatório e área adjacente da UHE Rondon II e derivação de produtos de análise do terreno para geração/atualização de curva Cota x Área x Volume.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliação do potencial de produção de sedimentos da bacia hidrográfica do empreendimento hidrelétrico;
- Quantificação da magnitude e importância dos efeitos do assoreamento;
- Implantação e levantamento de Rede de Vértices Geodésicos;
- Análise estatística espacial para consistência e validação de dados amostrais;
- Amostragem de malha planialtimétrica por levantamento geodésico, batimétrico, aerolevantamento, topográfico convencional e/ou demais meios de sensoriamento remoto, da área inundada e adjacente do reservatório;
- Derivação de produtos de planialtimetria para análise do terreno;
- Ajuste de curva Cota x Área x Volume.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

4 TERMOS E DEFINIÇÕES

- **Levantamento topográfico:** conjunto de métodos e processos que, através de medições de ângulos horizontais e verticais, de distâncias horizontais, verticais e inclinadas, com instrumental adequado à exatidão pretendida, primordialmente, implanta e materializa pontos de apoio no terreno, determinando suas coordenadas topográficas. A estes pontos se relacionam os pontos de detalhes visando à sua exata representação planimétrica numa escala predeterminada e à sua representação altimétrica por intermédio de curvas de nível, com equidistância também predeterminada e/ou pontos cotados. Compreende na determinação da posição de certos detalhes visíveis ao nível e acima do solo e de interesse à sua finalidade, tais como: limites de vegetação ou de culturas, cercas internas, edificações, benfeitorias, posteamentos, barrancos, árvores isoladas, valas, drenagem natural e artificial, dentre outros;
- **Apoio geodésico planimétrico:** conjunto de pontos, materializados no terreno, que proporcionam aos levantamentos topográficos ou controle de posição em relação à superfície terrestre determinada pelas fronteiras do país, referenciando-os ao datum planimétrico do país;
- **Apoio topográfico:** conjunto de pontos planimétricos, altimétricos, ou planialtimétricos, que dão suporte ao levantamento topográfico;
- **Poligonal principal:** poligonal que serve de apoio e controle planialtimétrico ao levantamento topográfico;
- **Poligonal secundária:** aquela que, apoiada nos vértices da poligonal principal, determina os pontos do apoio topográfico de segunda ordem;
- **Pontos cotados:** pontos definidores das formas e detalhes do relevo a serem levantados topograficamente, e que, em representações gráficas, apresentam-se acompanhados de suas respectivas altitudes;
- **Pontos de apoio:** pontos, convenientemente distribuídos, que amarram ao terreno o levantamento topográfico e, por isso, devem ser materializados por estacas, piquetes, marcos de concreto, pinos de metal ou tinta dependendo da sua importância e permanência;
- **Sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM):** Sistema de representação cartográfica adotado pelo Sistema Cartográfico Brasileiro;
- **Datum horizontal:** plano de referência primária, ao qual se relaciona a origem dos sistemas de coordenadas para um determinado local, em relação ao geóide;
- **Datum vertical:** plano de referência da altimetria, definido pela média das marés. No Brasil, encontra-se em vigência o datum do marégrafo de Imbituba – SC;
- **Georreferenciamento:** atribuição de coordenadas geodésicas aos elementos definidores do objeto do levantamento;
- **GPS:** Sistema de Posicionamento Global;
- **GNSS:** Sistema Global de Navegação por Satélite;
- **RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS):** em 1996 implantou-se o conceito de redes 'ativas' através do monitoramento (rastreio) contínuo de satélites do Sistema GPS. Diariamente todos os dados coletados nas estações da RBMC são transferidos automaticamente e disponibilizados aos usuários em formato RINEX;
- **Raster:** os dados raster são compostos por linhas (horizontais) e colunas (verticais) de pixels (também conhecidas como células). Cada pixel representa uma região geográfica, e o valor do pixel representa um atributo. O tratamento de

imagens deste tipo requer ferramentas especializadas, pois envolvem cálculos complexos, como interpolação, álgebra matricial, dentre outros;

- **Feições:** são características ou atributos que podem ser representados em formato vetorial ou matricial (raster).

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

5 RESULTADOS

A metodologia descrita no presente tópico trata-se do detalhamento técnico-metodológico-normativo das especificações mínimas obrigatórias sobre os trabalhos cartográficos especificados por orientações advindas das Agências Reguladoras em atendimento ao Art. 8 da Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03, de 10 de agosto de 2010.

Ressalta-se que sempre que possível, optou-se pela complementação metodológica das orientações supracitadas, de forma que a mesma não sofra mudança de objetivo ou perca sua essência, mas agregue informações essenciais para auxílio na antecipação da tomada de decisões, visando o gerenciamento da área de contribuição a montante do empreendimento.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE DE ESTUDO

A Usina Hidrelétrica Rondon II (Figura 2) entrou em operação no dia 31 de março de 2011, acessando a Subestação de Pimenta Bueno da Eletrobras Distribuição Rondônia, interligando-se ao SIN – Sistema Interligado Nacional.

O Aproveitamento hidrelétrico está localizado no trecho do rio Comemoração (denominado “Apertado da Hora”), a cerca de 90 km, pelo rio, da confluência com o rio Pimenta Bueno, próximo à cidade de mesmo nome, com as seguintes as coordenadas geográficas aproximadas do eixo do barramento: 12°00’ de latitude sul e 60°41’ de longitude oeste.

5.1.1 Dados básicos da unidade de estudo

- HIDROLÓGICOS
  - Área de drenagem: 3.182 km^2
  - Vazão média de longo termo: 86,2 m^3/s
- RESERVATÓRIO
  - Área inundada: 83,83 km^2
  - Volume total: 478,29 x 106 m^3
  - Volume útil: 286,12 x 106 m^3
- Cotas
  - ✓ Montante
  - Máximo maximorum 269,40 m
  - Máximo normal 268,00 m
  - Mínimo normal 264,00 m
  - Mínimo operacional 264,00 m
  - ✓ Jusante
  - Máximo maximorum (cheia decamilenar amortecida) 211,00 m
  - Máximo normal (cheia anual TR = 2,33 anos, amortecida) 206,60 m
  - Normal do canal de fuga (3 turbinas, queda de referência) 205,45 m
  - Mínimo operacional (0,65% de turbina, cota montante de 268,00m) 203,15 m
- BARRAGEM
  - Tipo: solo e solo/enrocamento
  - Comprimento: 1.108,0 m

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

    - Altura máxima: 18,50 m
- VERTEDOURO
    - Tipo: soleira livre
    - Vazão de projeto: 1.270 m^3/s
    - Comprimento: 351 m
- SISTEMA DE ADUÇÃO
    - Canal adutor-comprimento: 3.699 m
    - Tipo de tomada d'água: gravidade
    - Número de vãos: 1
    - Dimensões do vão: 4,80 m x 7,00 m
    - Diâmetro do conduto forçado: 6,20 m
    - Comprimento do conduto: 280,0 m
- CASA DE FORÇA
    - Comprimento total: 67,50 m
    - Potência instalada: 67,50 MW
    - Turbinas: (Francis, 3 unid.) 23,40 MW cada
    - Geradores: (3 unid.) 25 MVA cada
- PRINCIPAIS QUANTIDADES
    - Escavação
        - Comum: 2.098.500 m^3
        - Rocha: 243.700 m^3
    - Aterro: 853.000 m^3
    - Concreto: 176.600 m^3

Figura 2 – UHE Rondon II.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

5.2 CLASSIFICAÇÃO DO RESERVATÓRIO QUANTO AO POTENCIAL DE ASSOREAMENTO

O reservatório foi classificado, quanto ao seu potencial de assoreamento, tomando-se como referência os seguintes parâmetros: Potencial de Produção de Sedimentos, Posição Relativa na Cascata, Regime de Operação do Empreendimento e Magnitude e Importância dos Efeitos do Assoreamento.

5.2.1 Potencial de Produção de Sedimentos da Bacia Hidrográfica do Empreendimento Hidrelétrico

O enquadramento do reservatório neste parâmetro se deu basicamente por dois critérios: (1) pelo conhecimento do histórico de medições de descarga sólida disponível na bacia, e (2) pela classificando do potencial de produção de sedimentos na bacia em função da "degradação específica" (perda de solo – Pss) expressa em $Mg.km^{-2}.ano^{-1}$.

5.2.1.1 Obtenção, consistência e modelagem das medições de descarga sólida

A série histórica de medições de descarga sólida foi solicitada ao empreendimento objeto de estudo e dos demais empreendimentos imediatamente adjacentes (a montante e a jusante da "cascata"), além de demais estações em postos alocados em sub-bacias com afluentes na área de contribuição a montante do empreendimento.

5.2.1.1.1 Validação dos dados de descarga sólida

A abordagem de estimativa da precisão de dados sedimentométricos é complexa devido às muitas fases necessárias para obtenção da descarga sólida, não tendo ainda sido estabelecida uma metodologia adequada para a análise de consistência. Erros podem ser devidos à má escolha do equipamento, ou equipamento defeituoso; erro de operação na amostragem; erro devido à medição da vazão que incidirá no cálculo e até na amostragem; erros de análise do sedimento, bem como erro na escolha da fórmula adequada no caso de descarga do leito ou total. Geralmente dados sedimentométricos são divulgados sem a verificação dos erros cometidos ou informações sobre a precisão das metodologias empregadas, porque uma metodologia correta para a análise de consistência desses dados não está disponível (CARVALHO et al., 2000b).

Pouca quantidade de dados de sedimento, falando-se da frequência de operação, pode conduzir à obtenção de parâmetros inadequados. Dados de operação eventual devem cobrir toda a variação do nível d'água e vazão no posto, bem como abranger todo o período de estiagem e, principalmente, do período chuvoso. Parâmetros adequados de estudos são de primordial importância. Assim, pode-se chegar à conclusão que, mesmo tendo-se bons dados, se estes não foram obtidos com a frequência adequada, conduzirão a estudos incorretos.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

Durante o processamento dos dados, para ajuste da curva-chave de sedimento e verificação da dispersão de pontos incoerentes, os dados foram verificados com base no documento de cada medição e relação com demais variáveis.

Na validação básica foi verificada a ocorrência de dados inconsistentes. Geralmente, esses dados são aqueles gerados por erros de leituras dos sensores, com problemas de calibração ou com defeitos. Para validação básica os dados foram inicialmente subdivididos em validação de limites, lógica e por período.

5.2.1.1.2 Detecção de outliers

A detecção de outliers foi realizada pelos testes não paramétricos de Grubbs e Beck (Alpha = 0,05), ROUT (Q = 1%) e pelo método Interativo de Grubbs (Alpha = 0,05). Entre os diversos testes de hipóteses para detecção e identificação de pontos atípicos, o teste de Grubbs e Beck, descrito por Grubbs (1950, 1969) e estendido por Grubbs e Beck (1972), encontra-se entre os mais frequentemente empregados. As quantidades x_S e x_I definem, respectivamente, os limites superior e inferior, acima e abaixo dos quais, os pontos atípicos, eventualmente presentes em uma amostra, são detectados e identificados. Essas quantidades são definidas pelas seguintes expressões:

$$x_S = exp\left(\bar{x} + k_{N,\alpha} s_x\right) \quad \text{e} \quad x_I = exp\left(\bar{x} - k_{N,\alpha} s_x\right) \qquad (1)$$

Onde

$\bar{x}$ = média aritmética

s_x = desvio-padrão

N = tamanho da amostra

X = variável aleatória

$k_{N,\alpha}$ = denota o valor critico da estatística de Grubbs e Beck, para um nível de significância α

De acordo com o teste de Grubbs e Beck a um nível α = 0,10 e $k_{N,0,10}$, as observações eventualmente superiores a x_S, e/ou inferiores a x_I, estariam se desviando significativamente do conjunto dos dados e deveriam ser consideradas como *outliers*. Para 100α = 10%, Pilon et al. (1985) propõem a seguinte aproximação para o valor critico da estatística de Grubbs e Beck:

$$k_{N,\alpha=0,10} = -3,62201 + 6,28446N^{1/4} - 2,49835N^{1/2} + 0,491436N^{3/4} - 0,037911N \qquad (2)$$

5.2.1.2 Potencial de produção de sedimentos da bacia hidrográfica (Pss)

O enquadramento do reservatório neste parâmetro se deu pelo conhecimento do histórico de medições de descarga sólida disponível na bacia, para a estação UHE Rondon II Jusante, de código 15552580 (Tabela 1).

Realizou-se o ajuste de uma função exponencial entre a variável dependente de descarga sólida total (Qst) e a variável independente vazão (Q) (Figura 3).

Com base na série histórica disponível de Q, para a estação de código 15552580 (Figura 4), estimou-se a série histórica diária de Qst (Figura 5), a partir da qual realizou-se o cálculo de Pss, tanto para o passo de tempo anual com sua média histórica anual em relação a área a montante da estação.

Segundo a classificação proposta com base em Eletrobrás/IPH (1992), o Pss do reservatório de Rondon II corresponde a classe de baixo potêncial, uma vez que se encontra inferior a 25 $Mg.km^{-2}.ano^{-1}$.

Tabela 1 – Histórico de amostragem de dados de descarga sólida.

DATA	N.A.	Q	Área	V.M.	P.M.	L	C's	Cr	Qsf	Qst	Qss	(H2O / Ar)	
18/09/2019	5.02	54.07	100.49	0.54	3.11	32.32	3.48	103.32	35.72	51.99	16.27	24.50	31.40
06/06/2019	5.87	90.00	106.03	0.85	3.24	32.75	5.26	295.32	125.27	166.19	40.92	23.60	27.20
14/03/2019	6.81	141.49	143.67	0.99	4.06	35.28	4.15	363.78	180.97	231.72	50.74	25.90	27.30
05/12/2018	6.07	90.54	115.85	0.78	3.33	34.75	8.32	237.85	138.96	204.05	65.09	28.10	30.40
26/09/2018	5.55	68.01	99.14	0.69	3.05	32.51	3.35	186.10	60.62	80.31	19.69	27.00	28.00
21/06/2018	5.74	72.90	104.98	0.69	3.22	32.56	2.65	183.44	56.78	73.44	16.66	18.20	25.10
14/03/2018	6.06	88.48	118.32	0.75	3.41	34.75	6.32	210.64	111.05	159.39	48.34	22.10	26.70
13/12/2017	5.57	80.82	102.04	0.79	3.12	32.72	3.86	257.07	91.07	118.05	26.98	22.10	29.30
13/09/2017	5.50	81.06	103.14	0.79	3.16	32.67	3.02	250.32	79.76	100.89	21.13	22.60	31.40
14/06/2017	6.01	103.76	120.45	0.86	3.52	34.18	4.06	288.17	123.27	160.14	36.86	20.30	28.20
15/03/2017	5.98	102.42	121.34	0.84	3.57	34.00	3.41	272.28	107.62	137.78	30.16	23.10	29.40
14/12/2016	5.40	85.67	118.52	0.72	3.49	34.00	3.07	190.81	71.82	94.56	22.74	22.30	28.50
14/09/2016	5.08	47.94	86.68	0.55	2.55	34.00	4.39	129.76	41.29	59.47	18.18	26.40	29.50
22/06/2016	5.70	91.11	121.52	0.75	3.57	34.00	5.72	204.63	105.94	150.95	45.01	23.40	29.40
23/03/2016	7.01	145.31	168.30	0.86	4.95	34.00	16.04	229.66	264.56	465.87	201.32	28.70	33.60
10/12/2015	5.10	45.43	95.50	0.48	2.81	34.00	5.14	84.44	32.88	53.04	20.16	23.40	32.30
16/09/2015	6.13	110.42	128.62	0.86	3.78	34.00	3.75	272.98	119.48	155.27	35.79	24.60	31.50
12/06/2015	6.82	136.36	163.29	0.84	4.80	34.00	4.78	215.83	136.43	192.74	56.31	25.40	30.20
20/03/2015	7.56	169.16	190.50	0.89	5.60	34.00	14.26	225.83	277.74	486.09	208.35	21.40	33.60

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

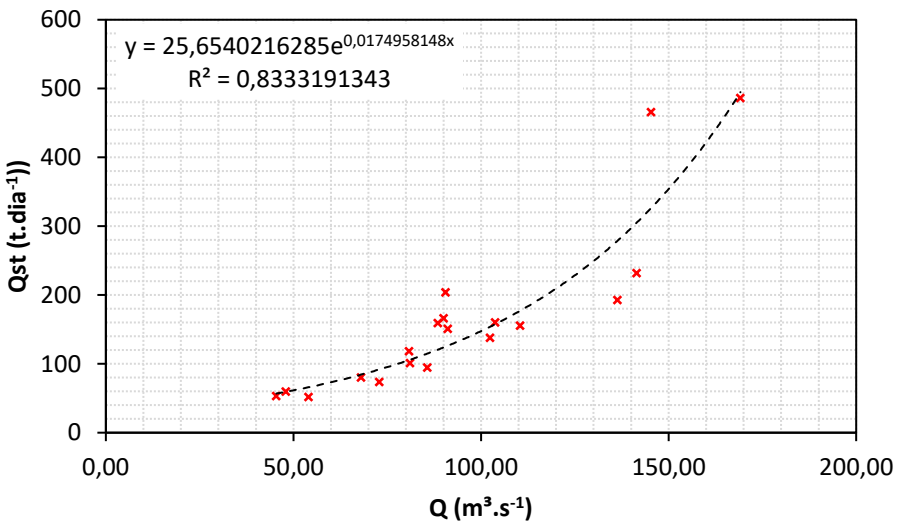


Figura 3 – Ajuste de função exponencial entre as variáveis Q e Q_{st} para a estação de código 15552580.

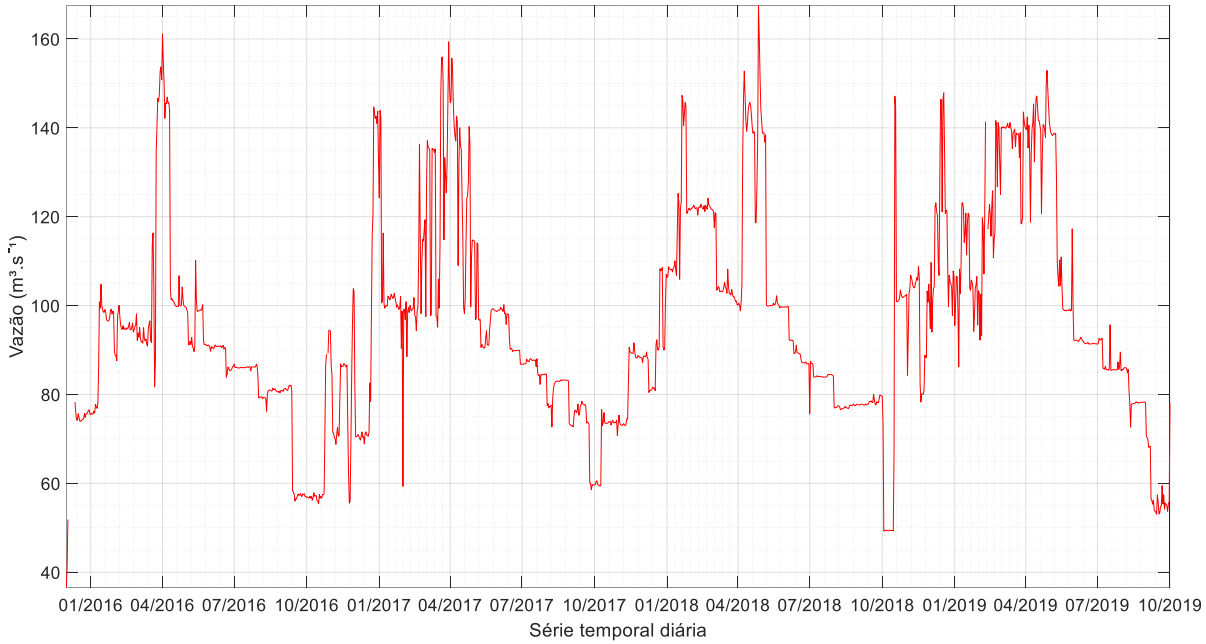
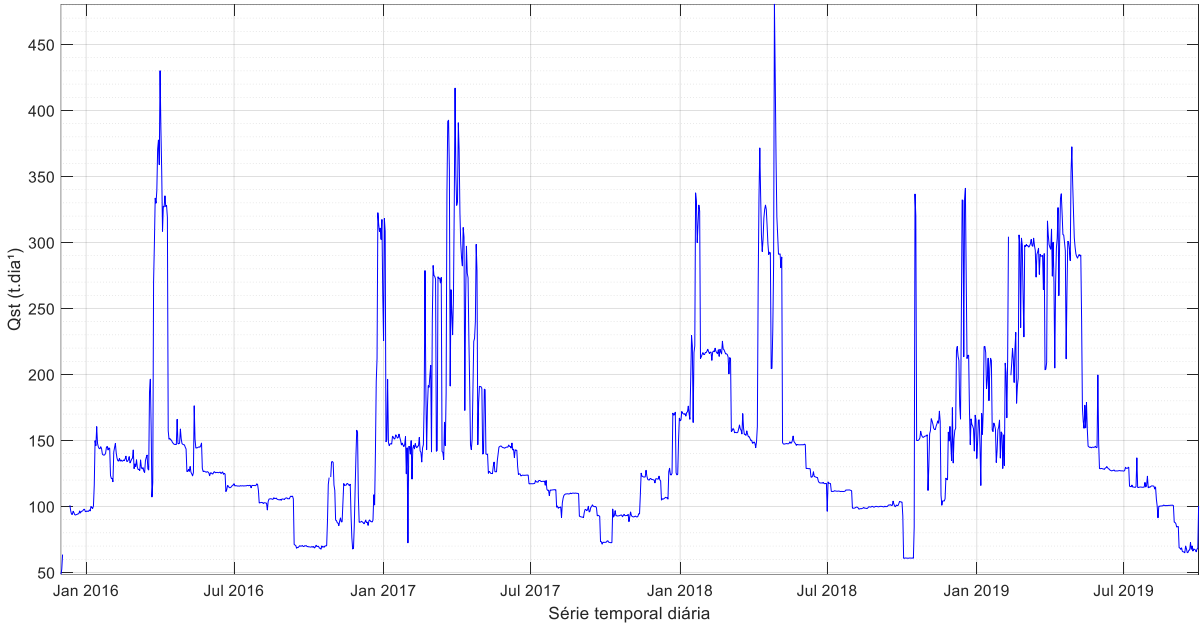


Figura 4 – Série histórica de vazão para a estação de código 15552580.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br



Fonte: o autor

Figura 5 – Série histórica de descarga sólida para a estação de código 15552580.

Tabela 2 – Potencial de produção de sedimentos na área de estudo.

Ano (hidrológico)	Q_{ano} ($m^3.s^{-1}$)	Q_{st} ($Mg.ano^{-1}$)	Q_{st} ($Mg.km^{-2}.ano^{-1}$)
2017	94.03	53.032,41	15.29
2018	96.60	54.919,42	15.836
2019	102.29	62.029,57	17.88
Média	97.64362	56660.47	**16.33**

5.2.1.3 Posição do Reservatório na Cascata (Prc)

Em bacias hidrográficas que possuem reservatórios em cascata, a posição relativa do aproveitamento é um parâmetro muito importante para a caracterização de sua suscetibilidade ao assoreamento.

Os reservatórios de cabeceira recebem grande parte do sedimento produzido pela bacia hidrográfica a montante, sendo mais vulneráveis ao assoreamento. Em contrapartida, como estes reservatórios retém parte do sedimento afluente, acabam por proteger os reservatórios de jusante que passam a ficar menos vulneráveis, a exceção se aplicados aos casos em que a bacia hidrográfica incremental seja grande e possua potencial de produção de sedimentos elevado.

Para definição da grandeza da área incremental de cada empreendimento na "cascata" as bacias e sub-bacias dos mesmos foram delimitadas e a magnitude espacial definidas segundo Teodoro et al., (2007).

5.2.1.3.1 Delimitação de bacias hidrográfica

Processamento sobreo Modelos Digitais de Elevação (MDE) permite derivar dados referentes direção do escoamento, acumulação de escoamento, rede de drenagem

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

numérica, delimitação de bacias hidrográficas, dentre outros. Para tanto, foi adotado o modelo digital de elevação *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) (FARR et al., 2007), sobre o qual, as seguintes etapas foram aplicadas:

a) Preenchimento de depressões espúrias (sumidouros de escoamento);
b) Identificação da direção de escoamento para cada célula, que demonstra o caminho mais íngreme de célula para célula;
c) Identificação da acumulação do escoamento, pela determinação do número de células a montante que contribuem para uma dada célula do MDE;
d) Definição dos cursos d'água, a partir de um limite de acumulação;
e) Segmentação dos cursos d'água, pela codificação com identificação única de cada trecho de curso d'água, em seções que conectam duas confluências sucessivas;
f) Delimitação das bacias de contribuição (bacias hidrográficas) de todos os trechos de cursos d'água obtidos anteriormente à segmentação;
g) Extração dos polígonos das bacias de contribuição, convertendo-se o mapa das bacias de contribuição do formato *raster*, da etapa anterior, para polígonos no formato vetorial;
h) Extração das linhas de drenagem pela vetorização das linhas dos trechos de cursos d'água obtidos na etapa de segmentação, o que corresponde à definição da rede hidrográfica que é formada pelos cursos d'água principais e todos os seus contribuintes;
i) Unificação de bacias, agregando todas as bacias hidrográficas a montante de um curso d'água até a sua confluência de interesse;
j) Delimitação das sub-bacias hidrográficas que promoveram a subdivisão da bacia de drenagem em áreas selecionadas para um propósito hidrológico de interesse.

A montante da UHE Rondon II encontra-se a PCH Apertadinho (Figura 6). A área de contribuição até a UHE Rondon II corresponde a 3.467,9158 km², por sua vez, a área de contribuição da PCH Aperdadinho corresponde a 750,0602 km², portanto a área incremental é de 2.717,8557 km². Uma vez que a área incremental da UHE Rondon II foi menor que 5.000 km², essa se configura como pequena bacia incremental, e, portanto de baixa suscetibilidade ao assoreamento quanto ao Prc.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

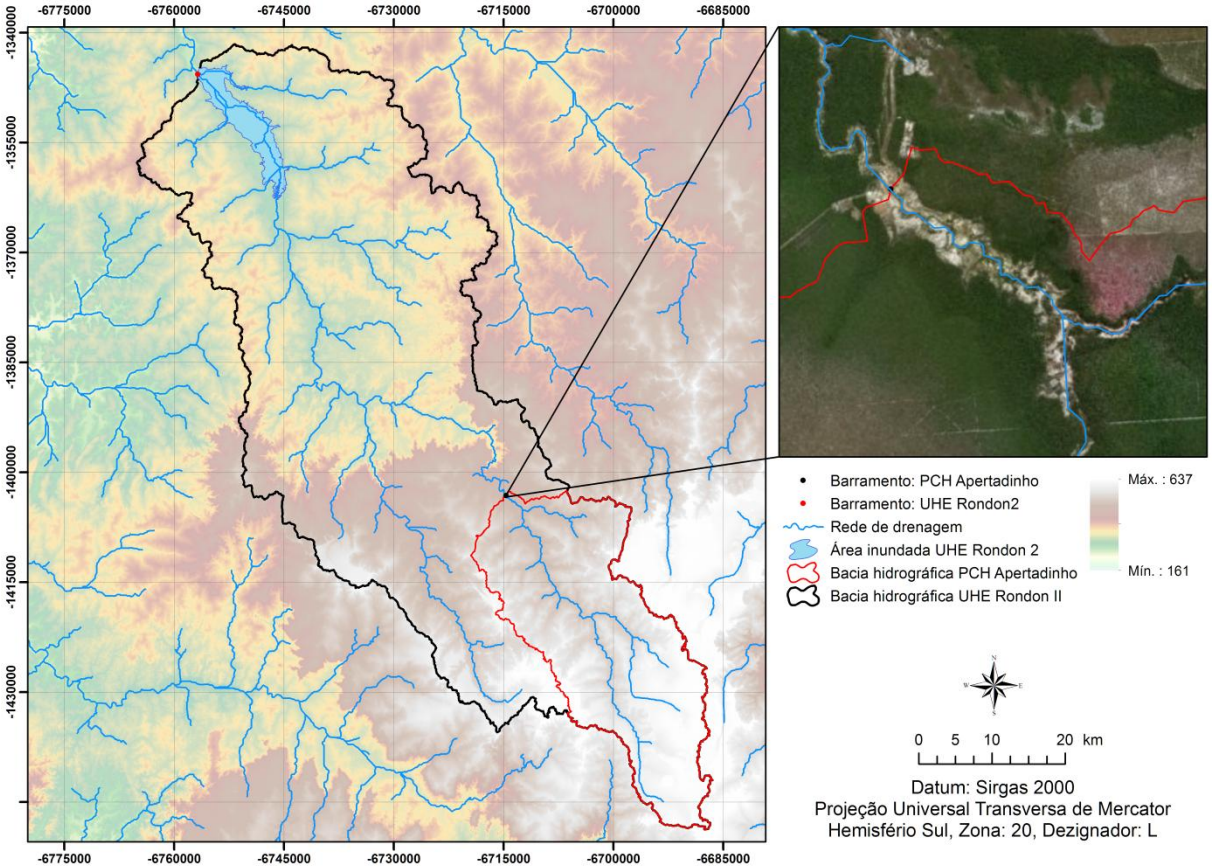


Figura 6 – Áreas de contribuição a montante da UHE Rondon II e a montante da PCH Apertadinho.

5.2.1.4 Regime de Operação do Reservatório (Ror)

Os reservatórios de regularização proporcionam benefícios à geração de energia local e de outros aproveitamentos situados à jusante, além de beneficiar também outros usos potenciais da água.

O assoreamento de seu volume útil acarreta perda capacidade de regularização, com perda de energia local e na cascata. Já os reservatórios operados ao fio d´água, mesmo que não utilizem diretamente o seu volume armazenado, podem ser afetados pelo assoreamento por meio da elevação de níveis de remanso a montante, por exemplo.

O índice de regularização (IR, valor expresso em dias) é a métrica adotada para classificação da suscetibilidade ao assoreamento, em função do regime de operação do reservatório. O mesmo é obtido pela razão entre o Volume Útil e Vazão Turbinada Média. Para o calculo desse índice foi solicitado ao empreendimento os registros de série histórica de vazão turbinada (Figura 7), sob a qual foi realizada análise de consistência e considerações sobre as medidas de tendência central e de variabilidade ao longo do tempo. O valor do volume útil informado foi confrontado com volume obtido de forma indireta sobre o SRTM, tomando nota da escala dos dados e nível de exatidão associados, no intuito apenas de garantir que erros grosseiros não tenham sido descartados dessa análise.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

Considerando que o volume útil do reservatório corresponde a 286,12 hm³ e a vazão média de longo termo de 83,1565 m³.s⁻¹, o IR resultante foi de 39 dias 19 horas e 45 min. Portanto, o reservatório pode ser considerado de média suscetibilidade quanto ao Ror.

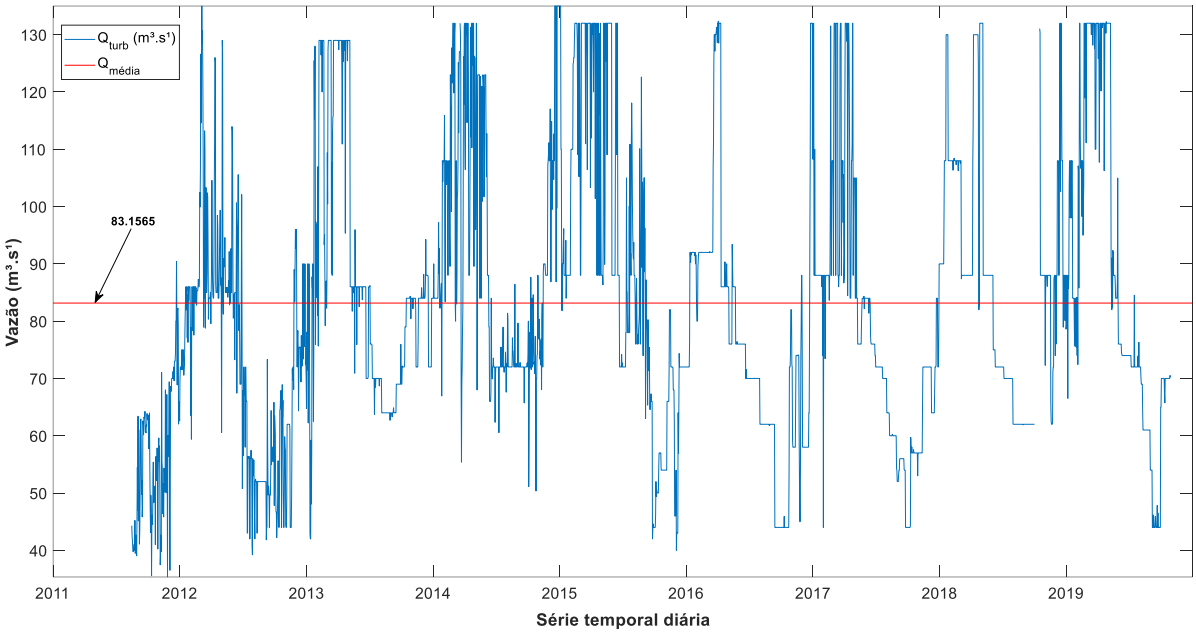


Figura 7 – Série histórica de vazão turbinada da UHE Rondon II.

5.2.1.5 Magnitude e Importância dos Efeitos do Assoreamento (MI)

Este parâmetro refere-se às possíveis consequências associadas ao processo de assoreamento do reservatório e é importante para caracterização adequada dos casos especiais de reservatórios que não apresentam sensibilidade aos três parâmetros anteriores, mas cujo assoreamento pode provocar danos ao aproveitamento ou a terceiros. Caso o reservatório não apresente sensibilidade aos parâmetros de produção de sedimentos, posição na cascata e regime de operação, não se vislumbra prejuízos em relação a assoreamento na região do remanso, e nem a outros usos associados ao reservatório. Portanto este parâmetro não é relevante em virtude de não ser determinante com relação à definição da criticidade, haja vista que a sua importância depende da intensidade dos três parâmetros anteriores. Se o reservatório não apresenta sensibilidade aos três parâmetros anteriores, não há que se falar em magnitude e importância dos efeitos do assoreamento. Os casos mais comuns são os reservatórios que recebem ocupação em suas margens, principalmente no quartil superior e na zona de remanso.

O assoreamento desses reservatórios provoca a elevação dos níveis de remanso podendo trazer prejuízos importantes às ocupações mencionadas anteriormente. Outro caso importante são os reservatórios operados a fio d´água, mas que apresentam múltiplos usos, onde o assoreamento, mesmo não afetando sua operação, traz prejuízos a outros setores da sociedade que se beneficiam do mesmo. As estruturas hidráulicas e de geração dos aproveitamentos dotados de pequenos reservatórios podem também ser impactadas pelo assoreamento, principalmente em rios que apresentam transporte de sedimento de fundo

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

significativo. Estes são exemplos de reservatórios com sensibilidade alta em relação à magnitude dos prejuízos causados pelo assoreamento.

Para análise de importância desse parâmetro, as séries históricas de população foram obtidas das estatísticas municipais do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018) para todos os municípios com influência ribeirinha.

A figura 8 ilustra o uso e cobertura do solo da região delimitada pela área de contribuição a montante da UHE Rondon II, onde ocorre apenas um município, o qual se encontra a montante da PCH Apertadinho. O município em questão trata-se de Vilhena – RO, com população estimada pelo IBGE (2019) para o ano de 2019 de 99.854 habitantes e densidade demográfica de 6,62 hab.km^{-2}. Constatou-se que a margem direita do reservatório encontra-se praticamente livre de ocupação humana, e a margem esquerda, há ocorrência de pelo menos cinco propriedades rurais as quais a conversão da vegetação remanescente para pastagem ocorreu antes de 1995 (PROJETO MAPBIOMAS, 2019).

Uma vez que pelo menos um dos parâmetros adotados para determinação do nível de criticidade foi considerado como de média suscetibilidade, o MI foi considerado como de média externalidade.

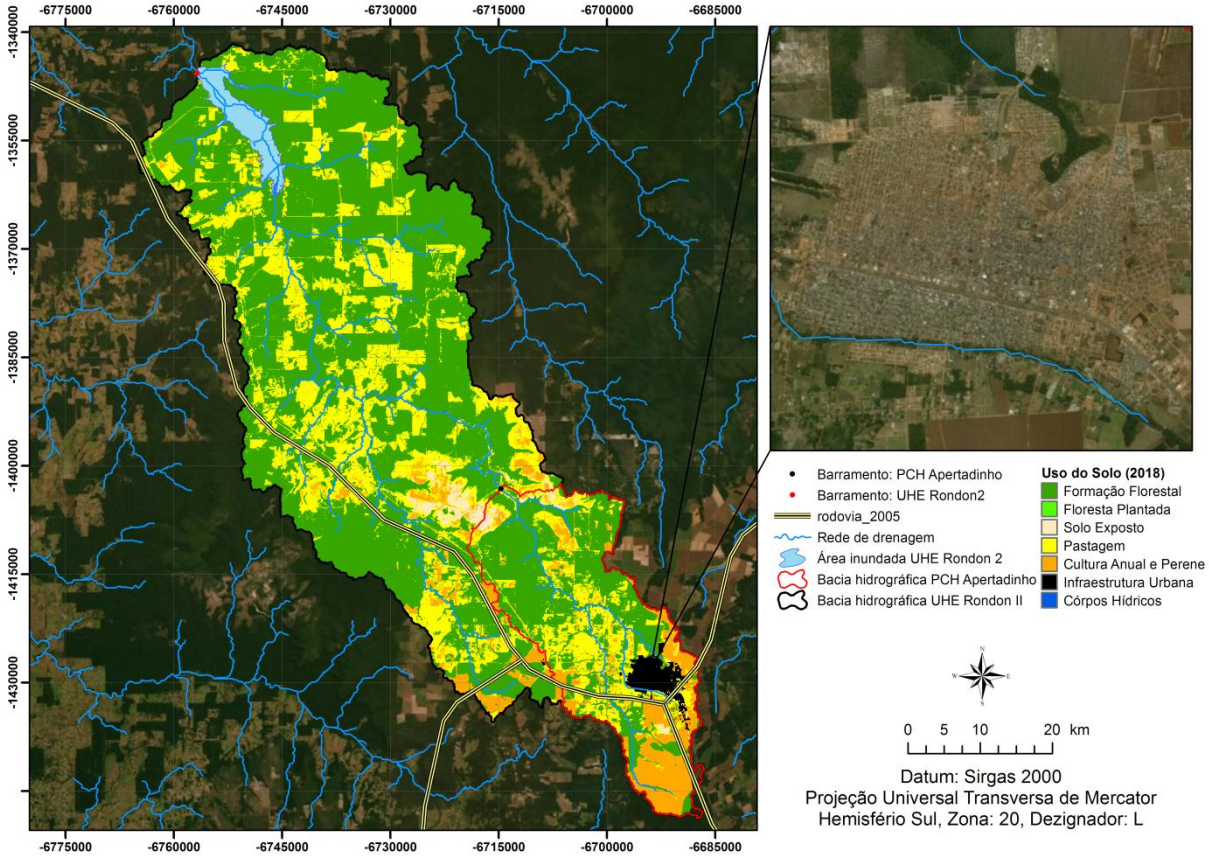


Figura 8 – Uso e cobertura do solo para área de contribuição a montante da UHE Rondon II.

5.2.1.6 Determinação do Nível de Criticidade

O nível de criticidade foi calculado empregando-se as variáveis apresentadas nos itens 5.3.1 até 3.3.4, conforme equação a seguir:

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

$$NC = \frac{P_{ss} + P_{rc} + MI + 4R_{or}}{21} \quad (3)$$

O agente do setor elétrico, em função dos resultados obtidos pela fórmula anterior, deverá enquadrar-se em uma das seguintes classes:

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

Com o cálculo do NC em relação ao potencial de assoreamento, em função dos resultados obtidos para Pss, Prc, Ror e MI, obtiveram-se ao valor de 0,57, correspondente ao NC de classe dois, ou seja, o reservatório Rodon II apresenta média criticidade quanto a potência ao assoreamento. Dessa forma, previu-se a instalação de no mínimo dois conjuntos de três seções transversais de controle para o monitoramento sedimentométricos, posicionadas em seu quartil superior.

5.3 IMPLANTAÇÃO DA REDE DE VÉRTICES GEODÉSICOS (RVG)

A RVG se caracteriza na Rede de Apoio Básico, adotada como base para o georreferenciamento das seções batimétricas. A implantação da RVG pode ser sumarizada conforme a seguinte metodologia:

a) Identificação das RRNN do IBGE mais próximas à área de concessão ou autorização;
b) Levantamento dos valores antigos e os atuais das altitudes ortométricas depois dos últimos ajustes da Rede Altimétrica Nacional efetuados pelo IBGE;
c) Pesquisa e identificação do marcos remanescentes de trabalhos anteriores e/ou da época de implantação do empreendimento hidrelétrico, analisando sua posição no reservatório e suas condições de ocupação GNSS e/ou nivelamento;
d) Planejamento e distribuição de pelo menos 10 marcos de concreto na área de abrangência da concessão ou autorização. Apesar do número de marcos ser apenas uma referência da densidade mínima, não houve necessidade de ampliação da rede além do mínimo recomendado, em virtude da área de abrangência do reservatório (dimensão, localização, divisa entre Estados) e condições cartográficas (áreas de transposição de fuso do sistema de projeção da cartografia oficial). Este planejamento levou em conta os pontos identificados no item c, assim como as RRNN do IBGE (item a) e o posicionamento das seções topobatimétricas de monitoramento;
e) Obtenção do nivelamento e contra nivelamento partindo das RRNN até os marcos que constituem a RVG. Este nivelamento foi efetuado com nível digital com registro automático das leituras afim de evitar erros grosseiros relacionados às anotações indevidas. Também foi observada a precisão das

linhas de nivelamento, com fechamento máximo de 3 mm por km em seu duplo nivelamento, correspondendo a um levantamento de primeira ordem;

f) Rastreamento com receptores GNSS RTK dos marcos implantados e nivelados, sendo que tais rastreios foram feitos em duas seções com variação da altura da antena, com observação mínima e simultânea de 6 satélites nos períodos de rastreio, PDOP inferior a 4, posicionamento relativo estático, e precisão nominal superior ou igual a 5mm+1ppm;

g) Processamento dos dados oriundos do nivelamento e das ocupações com GNSS em softwares específicos utilizando os módulos de ajustamento pertinentes, de modo a se obter os melhores resultados no contexto do empreendimento e da área de concessão ou autorização;

h) Elaboração das monografias dos vértices seguindo padrões estabelecidos, assim como o Relatório de Implantação da RVG, constando a descrição dos procedimentos de campo, documentação e reportagem fotográfica;

i) Relatório de pós-processamento, exportados diretamente dos softwares que processam tanto o nivelamento quanto as ocupações GNSS;

j) Todos os resultados foram obtidos em SIRGAS 2000 (Época 2000,4) com as coordenadas no sistema UTM e Geográfico, com os respectivos indicadores de precisão.

A execução de implantação dos marcos geodésicos foi realizada com mínimas alterações da proposta aprovada no plano de trabalho. As alterações foram devidas ao acesso observado em campo e à logística de nivelamento.

No Banco de Dados Geodésicos do IBGE, foram consultados, dentro de um enquadramento abrangente (na ordem de 100 km), as estações do tipo Referencial de Nível (RN), SAT-GPS (GPS) e Estação Gravimétrica (EG). Na BR-364 foram identificadas as linhas 754, 755 e 756, as quais dão acesso a Usina Rondon II.

Para cada estação ao longo das linhas citadas, considerou-se as características iniciais de pré-análise, tais como situação de conservação dos RRNN, ultima visita e localização.

Para a localização dos RRNN, a implantação havia sido feita quando a rodovia tinha o traçado original, ou seja, não é o mesmo traçado existe hoje na BR-364, isso fez com que fossem reduzidas suas possibilidades de localização.

Ao final de cada período de medição, os dados coletados em campo foram transferidos a *laptops*, onde se fez as análises das precisões alcançadas, objetivando-se manter a tolerância de erro no fechamento altimétrico de 3 mm$\sqrt{k}$ onde k corresponde a distância percorrida em quilômetros.

Para o pós-processamento dos dados, foram utilizados softwares apropriado, seguindo-se as observado dos 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, a saber:

- Balanceamento das distâncias das leituras das miras a ré e a vante, evitando grandes diferenças entre elas e respeitando um limite máximo de distância de leitura em 80 m, de modo a compensar o efeito da curvatura terrestre e refração atmosférica;
- Realização de leituras acima de 0,50 m do solo, evitando turbulências causadas pela reverberação;

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

- Utilização de miras aos pares e alternando-as entre ré e vante, eliminando o erro de índice entre réguas;
- Apoio das miras sobre sapatas ou pinos; e
- Utilização do ponto de segurança (PS) a aproximadamente 1 km ou, em situações desfavoráveis, em espaçamento inferior.

A próxima etapa do trabalho foi identificar os RRNN oficiais do IBGE para se efetuar os nivelamentos e contra nivelamento dos marcos da RVG.

Por se tratar de uma rede muito antiga, feita na década de 70, era sabido que seria complexa a localização dos marcos em campo.

Na linha 755, que passa em frente à entrada da usina, não foram encontrados quaisquer RRNN. Na linha 756, que inicia no entroncamento entre a RO-482 e BR-364 até a cidade de Pimenta Bueno, também não foram encontrados quaisquer RRNN. Em Pimenta Bueno nas dependências do INCRA, os RRNN 757B e 9517L (Figura 9), não puderam ser utilizados, uma vez que o primeiro foi avariado (remoção da chapa de identificação oficial), bem como o 9517L que foi concretado para utilização do local como abrigo para campo de futebol do INCRA.

Figura 9 – RRNN 9517L (a esq.) e RRNN757B (a dir.).

Em Vilhena foi encontrado o RRNN 754X, localizado na cabeceira da ponte sobre o Rio Ávila, em frente a PCH Cachoeirinha, o qual foi adotado como referencial de nível para a rede RVG (Figuras 10 e 11).

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

Figura 10 – RRNN 754X (a esq.) e detalhes da chapa (a dir.) na ponte Localização em frente a PCH Cachoeirinha.

IBGE Relatório de Estação Geodésica

Estação :	754X	*Nome da Estação :*	754X	*Tipo :*	Referência de Nível - RN
Município :	VILHENA			*UF :*	RO
Última Visita:	15/07/1974	*Situação Marco Principal :*	BOM	Última Atualização :	30/07/2018

DADOS PLANIMÉTRICOS		DADOS ALTIMÉTRICOS		DADOS GRAVIMÉTRICOS
Latitude	12° 30' 18" S	*Altitude Normal(m)*	408,7366	*Gravidade(mGal)*
Longitude	60° 28' 15" W	*Fonte*	Nivelamento Geométrico	*Datum*
Fonte	Carta 1:100000	*Sigma Altitude(m)*	0,119(#)	*Data Medição*
Origem	Transformada	*Datum*	Imbituba	*Data Cálculo*
Datum	SIRGAS2000	*Data Medição*	15/07/1974	
Data Medição	15/07/1974	*Data Cálculo*	30/07/2018	
Data Cálculo		*Número Geopotencial (m²/s²)*	3.998,309	
Sigma Latitude(m)				
Sigma Longitude(m)				
UTM(N)	8.616.289			
UTM(E)	774.881			
MC	-63			

- *Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 30/07/2018 - REALT 2018 2ªedição disponível em :* *https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101666.pdf*
- *Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em :* *ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rede_planialtimetrica/relatorio/rel_sirgas2000.pdf*
- *Para obtenção de Altitude Ortométrica referente a levantamento SAT utilizar o MAPGEO2015 disponível em :* *https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/modelos-digitais-de-superficie/modelos-digitais-de-superficie/10855-modelo-de-ondulacao-geoidal.html*
- *As informações de coordenadas estão relacionadas ao sistema SIRGAS2000, em conformidade com a RPR 01/2015 de 24/02/2015 disponível em :* *ftp://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_2015_sirgas2000.pdf*

Localização

Trecho : VILHENA - PIMENTA BUENO (BR-364)
No lado direito da cabeceira da ponte sobre o Rio Ávila e 300 m da Pensão Catarina, a direita do eixo.

Descrição

Chapa padrão IBGE.

Figura 11 – Relatório da estação geodésica 754X.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

5.3.1 Nivelamento geométrico

O nivelamento geométrico é a operação que visa à determinação do desnível entre dois pontos a partir de leitura de estádias ou código de barras efetuadas com níveis ópticos ou digitais, respectivamente. Operacionalmente, para essa especificação técnica, ele foi conduzido da seguinte forma:

a) De forma dupla (nivelamento e contranivelamento), na qual a diferença dos resultados de ambos não foram ser superiores a 3 mm e a variável K corresponde a distância média nivelada em quilômetros;
b) Por visadas iguais e inferiores a 40 metros, com erro na equidistância de ré e de vante inferior a 5% do comprimento total do lance;
c) Com miras verticalizadas sobre as RRNN ou sobre os pontos de passagem, sendo empregado para tal um nível de cantoneira;
d) Com leituras praticadas anterior de 50 centímetros do solo para evitar turbulências decorrentes da reverberação;
e) Com leituras praticadas a alturas inferiores a 3,5 m na mira, para evitar a falta de verticalidade da mesma decorrente o efeito do vento;
f) Com leituras do fio nivelador (médio) e dos estadimétricos (superior e inferior), sendo que a diferença tolerável entre a média desses últimos com a leitura do fio nivelador é de 2 milímetros.

Adotou-se o método de Nivelamento e Contra Nivelamento do trecho, afim de obter os fechamentos precisos conforme nivelamento classe I.

Para o nivelamento foram utilizadas duas sapatas metálicas e duas miras. Com o nível estacionado a primeira leitura em visada ré A era realizadas seguida da visada vante B. Esse procedimento foi realizado até o fechamento no marco ou ponto de apoio, em seguida, o fechamento era realizado pelas as leituras de volta, retornando o caminhamento em direção ao ponto de fechamento do início do serviço.

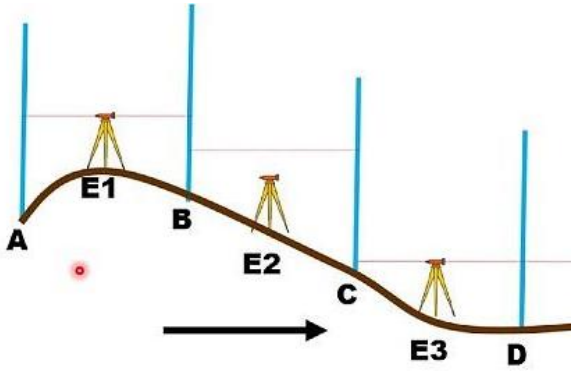


Figura 12 – Modelo esquemático de nivelamento e contranivelamento topográfico.

A figura 13 ilustra as linhas utilizadas para o nivelamento dos marcos.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

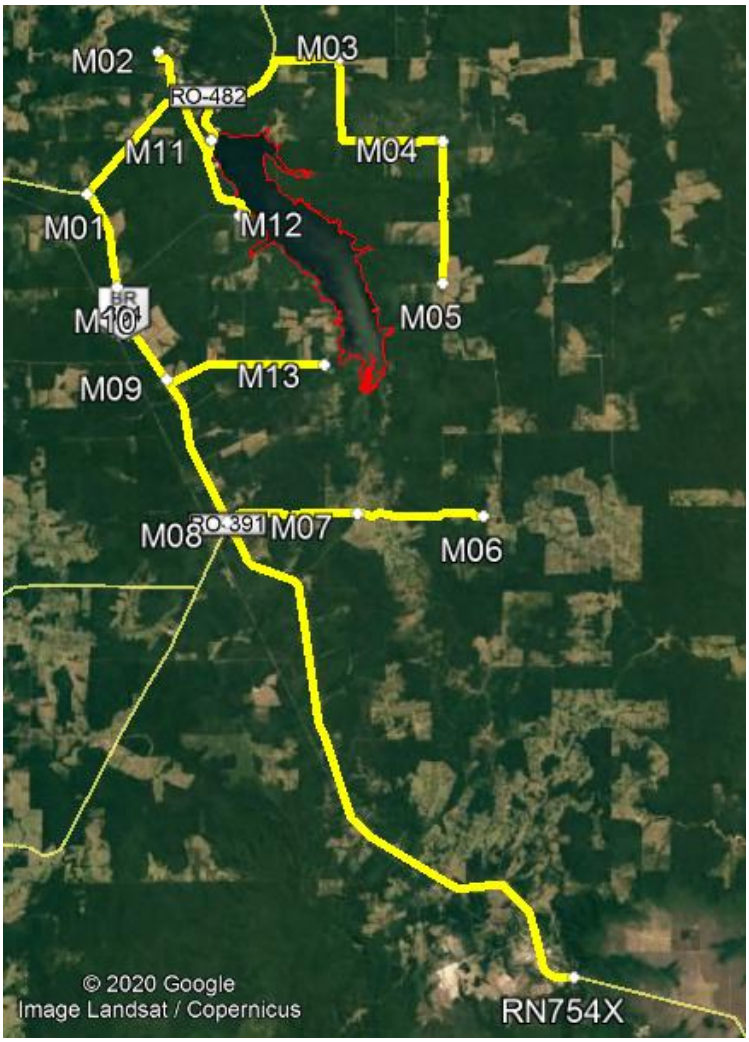


Figura 13 – Percurso do Nivelamento Geométrico.

5.3.1.1 Nível digital

- Precisão por km duplo: Leitura digital 1,5 mm e Leitura Óptica 2,0 mm;
- Ampliação 32X;
- Display LCD de 128* 32dpi com iluminação;
- Memoria 16Mb;
- Conexão USB para descarregar os dados.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

Figura 14 – Nível DL202, adotado para atendimento as exigências de exatidão de nivelamento.

A tabela 2 relata as distâncias percorridas entre os diferentes marcos geodésicos da RVG.

Tabela 2 – Distância entre marcos geodésicos adjacentes.

MARCO		DISTÂNCIA
De	**Para**	
RRNN754X	M08	43.453,00m
M08	M09	10.559,00m
M09	M10	7.226,00m
M10	M01	6.782,00m
M01	M02	12.798,00m
M01	M11	15.000,00m
M11	M12	8.079,00m
M11	M03	13.127,00m
M03	M04	12.553,00m
M04	M05	9.771,00m
M09	M13	11.135,00m
M08	M07	9.085,00m
M07	M06	9.975,00m
TOTAL		**169.543,00m**

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

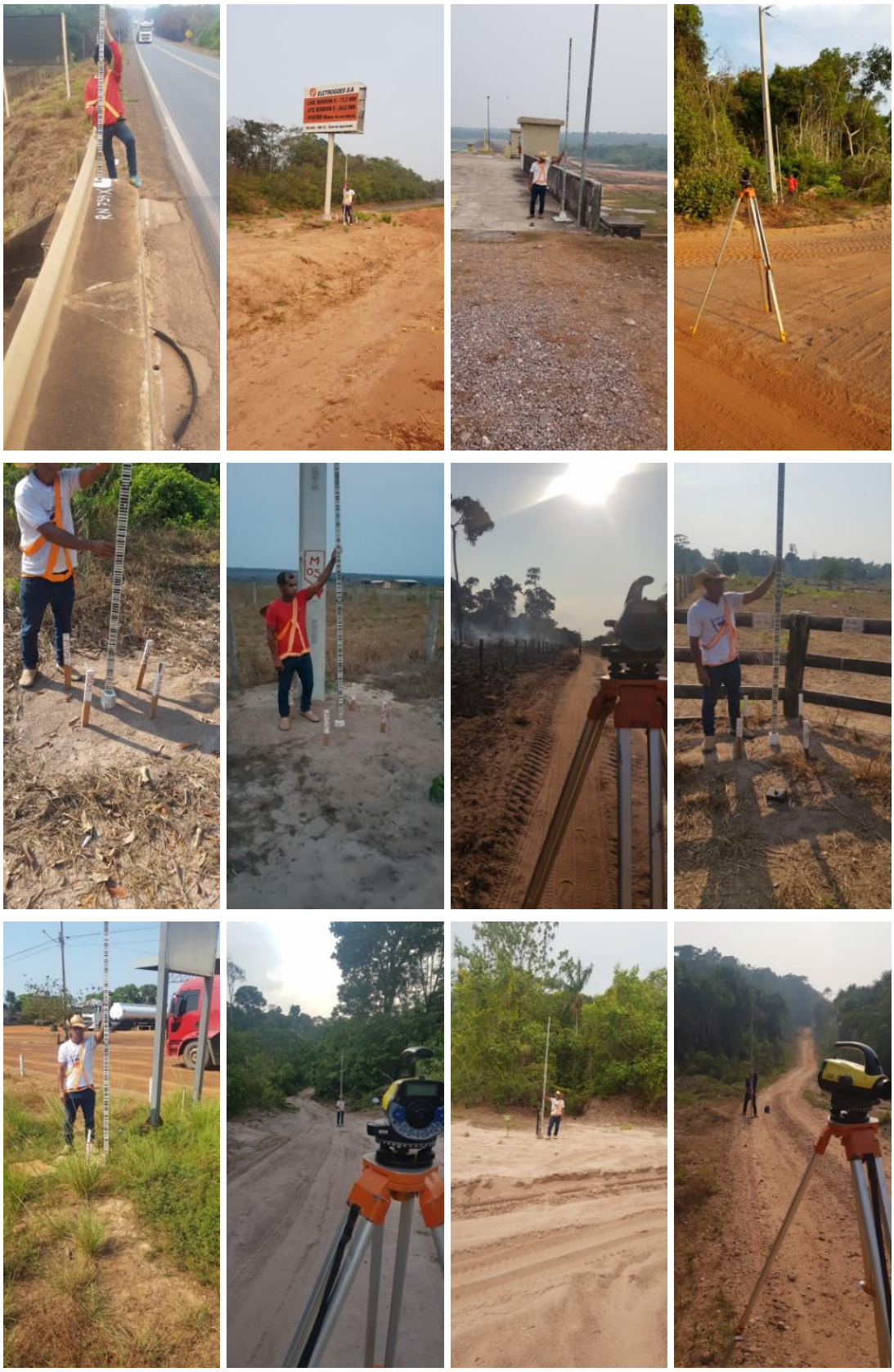


Figura 15 – Acervo fotográfico das campanha de nivelamento.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

5.3.2 Posicionamento por GNSS

O posicionamento através do sistema GNSS consiste na determinação de coordenadas tridimensionais a partir de uma ou mais constelações de sistemas globais de navegação por satélites, os quais enviam continuamente sinais para os usuários/receptores.

A metodologia aplicada para obter as coordenadas precisas dos marcos consistiu no rastreamento com o uso de GNSS geodésico 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, podendo também ser utilizado a dupla diferença da pseudodistância ou ambas. Os melhores resultados em termos de acurácia são obtidos quando se tem duas observáveis. Neste tipo de posicionamento, dois ou mais receptores rastreiam, simultaneamente, os satélites visíveis por um período de tempo que pode variar de dezenas de minutos (20 minutos, no mínimo) até algumas horas. Devido ao longo período de ocupação das estações, este método utiliza mais a fase de onda portadora cuja precisão é superior ao da pseudodistância, que só é utilizada no pré-processamento. Este método é o mais preciso e o mais adequado para levantamentos geodésicos e geodinâmicos.

Os equipamentos empregados nesse processo garantiram no mínimo a precisão nominal de 5mm+1ppm e 10mm+2ppm para a definição planimétrica e altimétrica, respectivamente.

O tempo de rastreio permitiu solução fixa da ambiguidade e efemérides precisas. A antena do receptor foi pré-selecionada com base naquelas que possuem parâmetros de correção estimados e publicados pelo *International GNSS Service* (IGS).

Figura 24 – Receptor GNSS SOUTH GALAXY G1 PLUS RTK para posicionamento geodésico (à esq.) e coletora (dir.)

Os vértices da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro empregados nas atividades de apoio terrestre foram apenas os do tipo SAT-GPS e os pertencentes à RBMC/RIBAC. Destaca-se que não foram adotados os vértices do tipo SAT-Doppler, EP (Estação de poligonação) ou VT (Vértice de Triangulação).

Foram implantados 12 marcos geodésicos (Figuras 16 e 17) além do aproveitamento de um existente na estrutura do barramento, totalizando 13 marcos, entretanto, este não foi considerado para ajuste do MOGL, uma vez que encontra-se em uma estrutura com variações planialtimétricas não conhecidas, e portanto, desconhecido também seu erro admissível. A disposição dos marcos foi realizada de tal forma que garantisse uma distribuição altimétrica representativa da conformação do relevo, centralizasse e contemplasse amplamente o objeto de estudo, permitisse uma

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

conformação mais regular possível dos pontos, não excedesse o alcance de rádio do receptor GNSS entre um ponto e outro, e otimizasse a logística para o rastreamento.

O tempo de rastreio, soluções e acurácia de cada observação pode ser observado nas Tabelas 4 e 5.

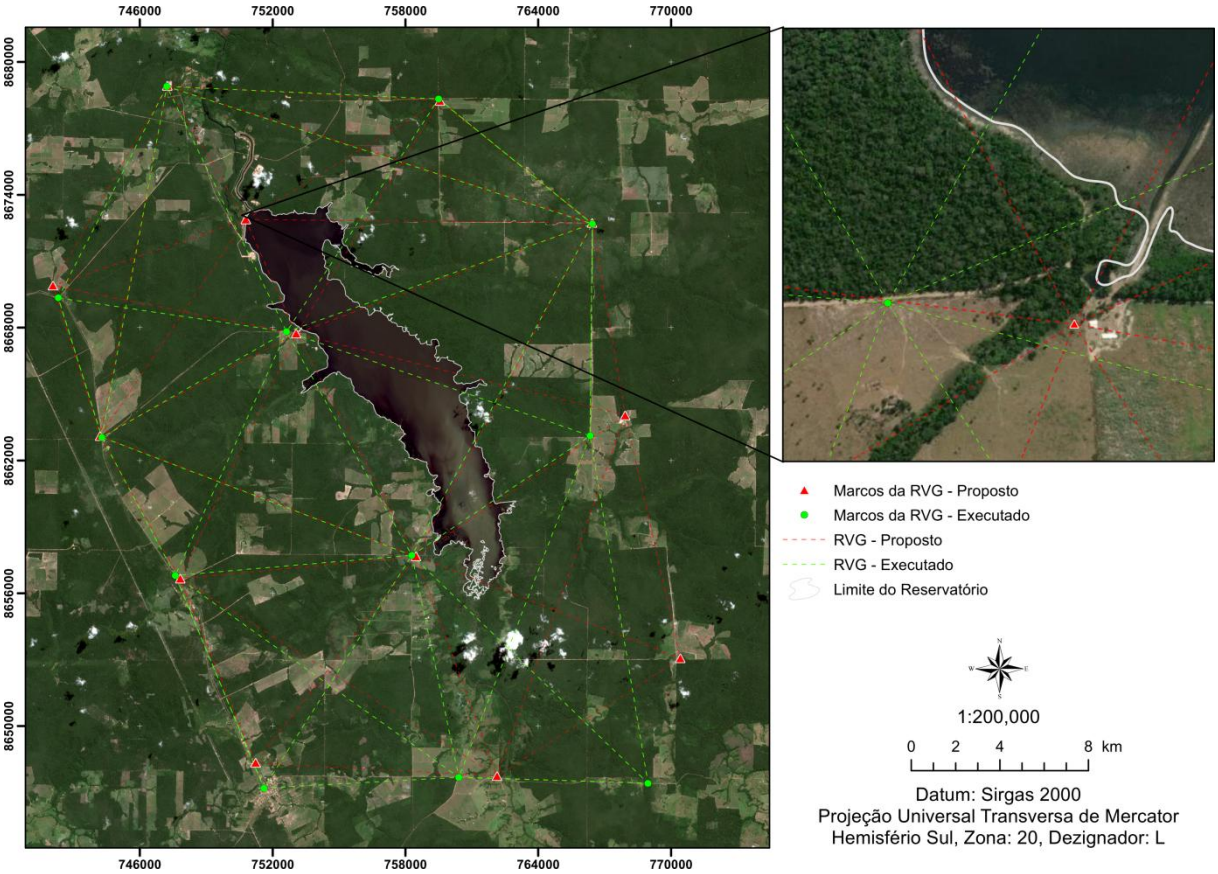


Figura 16 – Distribuição dos marcos da Rede de Vértices Geodésicos.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

Figura 17 – Acervo fotográfico das campanhas de levantamento geodésico.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

Tabela 4 – Tempo de rastreio e soluções.

Nome	Distancia (m)	Duração	Tipo Solução
BASE USINA−M11	95,763	01:59:27	Fixo
BASE USINA−M11	95,764	02:00:17	Fixo
BASE USINA−M12	5497,671	02:00:16	Fixo
BASE USINA−M12	5497,672	02:03:13	Fixo
BASE USINA−M13	17024,563	01:59:43	Fixo,Livre Iono
BASE USINA−M13	17024,556	01:59:09	Fixo,Livre Iono
BASE USINA−MTJI	223502,723	57:40:50	Fixo,Pista Larga
BASE USINA−ROJI	186070,136	57:40:50	Fixo,Pista Larga
M01−M08	24009,021	00:24:59	Fixo,Livre Iono
M01−M08	24009,01	02:00:10	Fixo,Livre Iono
M01−MTJI	232553,717	02:00:21	Fixo,Pista Larga
M01−MTJI	232553,643	02:00:10	Flutuante,Pista Larga
M01−ROJI	182533,994	02:00:10	Flutuante,Pista Larga
M01−ROJI	182533,998	02:00:21	Fixo,Pista Larga
M02−MTJI	225440,743	05:00:21	Fixo,Pista Larga
M02−MTJI	225440,74	04:41:45	Fixo,Pista Larga
M02−ROJI	179496,933	04:41:45	Fixo,Pista Larga
M02−ROJI	179496,941	05:00:21	Fixo,Pista Larga
M03−MTJI	213653,998	02:01:07	Fixo,Pista Larga
M03−MTJI	213653,988	02:04:57	Fixo,Pista Larga
M03−ROJI	189165,256	02:01:07	Fixo,Pista Larga
M03−ROJI	189165,445	02:04:57	Fixo,Pista Larga
M04−MTJI	208434,098	02:00:11	Fixo,Pista Larga
M04−MTJI	208434	02:01:46	Flutuante,Pista Larga
M04−ROJI	198109,116	02:01:46	Fixo,Pista Larga
M04−ROJI	198109,135	02:00:11	Fixo,Pista Larga
M05−MTJI	211393,323	02:00:07	Flutuante,Pista Larga
M05−MTJI	211393,433	02:00:50	Fixo,Pista Larga
M05−ROJI	204261,732	02:00:50	Fixo,Pista Larga
M05−ROJI	204261,774	02:00:07	Flutuante,Pista Larga
M06−MTJI	214512,138	02:07:35	Flutuante,Pista Larga
M06−MTJI	214512,2	02:01:15	Fixo,Pista Larga
M07−MTJI	222307,92	02:00:39	Flutuante,Pista Larga
M07−MTJI	222307,923	02:01:15	Flutuante,Pista Larga
M07−ROJI	210661,291	01:03:08	Fixo,Pista Larga
M08−MTJI	230673,817	09:00:03	Fixo,Pista Larga
M08−MTJI	230673,815	02:04:14	Fixo,Pista Larga
M08−RN754X	38606,153	02:00:36	Fixo,Pista Larga
M08−RN754X	38606,045	02:00:56	Fixo,Pista Larga
M08−ROJI	204988,661	02:04:14	Fixo,Pista Larga
M08−ROJI	204988,657	09:00:03	Fixo,Pista Larga
M09−MTJI	231168,814	02:06:55	Fixo,Pista Larga
M09−MTJI	231168,807	02:08:45	Flutuante,Pista Larga

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

M09−ROJI	195218,495	02:06:55	Fixo,Pista Larga
M09−ROJI	195218,489	02:08:45	Fixo,Pista Larga
M10−MTJI	232410,979	02:00:35	Fixo,Pista Larga
M10−MTJI	232410,964	02:00:11	Fixo,Pista Larga
M10−ROJI	188413,061	02:00:35	Flutuante,Pista Larga
M10−ROJI	188412,978	02:00:11	Flutuante,Pista Larga
M11−MTJI	223446,1	02:00:17	Fixo,Pista Larga
M11−MTJI	223446,097	01:59:27	Fixo,Pista Larga
M11−ROJI	186164,968	02:00:17	Flutuante,Pista Larga
M11−ROJI	186164,905	01:59:27	Fixo,Pista Larga
M12−MTJI	223051,981	02:00:16	Fixo,Pista Larga
M12−MTJI	223051,953	02:03:13	Flutuante,Pista Larga
M12−ROJI	190985,178	02:00:16	Fixo,Pista Larga
M12−ROJI	190985,311	02:03:13	Flutuante,Pista Larga
M13−MTJI	220763,57	01:59:09	Fixo,Pista Larga
M13−MTJI	220763,549	01:59:43	Fixo,Pista Larga
M13−ROJI	202056,755	01:59:43	Fixo,Pista Larga
M13−ROJI	202056,687	01:59:09	Flutuante,Pista Larga
MTJI−RN754X	223349,191	02:00:56	Fixo,Pista Larga
MTJI−RN754X	223349,038	02:00:36	Fixo,Pista Larga
RN754X−ROJI	243448,478	02:00:56	Fixo,Pista Larga
RN754X−ROJI	243448,544	02:00:36	Flutuante,Pista Larga

Tabela 5 – Coordenadas e desvio padrão

Nome	Longitude (gms)	Desvio Padrão (m)	Latitude (gms)	Desvio Padrão (m)	Altitude Elipisoidal (m)	Desvio Padrão (m)
BASE USINA	11°59’41,49738783”S	0,013	60°41’51,10662309”W	0,007	273,435	0,019
M01	12°01’41,58427627”S	0,015	60°46’27,65296174”W	0,009	361,508	0,023
M02	11°56’29,46742426”S	0,02	60°43’48,20626565”W	0,016	325,089	0,050
M03	11°56’44,60583760”S	0,019	60°37’02,34029293”W	0,017	342,838	0,047
M04	11°59’46,14427024”S	0,025	60°33’11,24270682”W	0,013	369,414	0,038
M05	12°04’57,41003860”S	0,027	60°33’11,68451111”W	0,016	345,524	0,035
M06	12°13’27,28289537”S	0,039	60°31’40,44056858”W	0,026	342,423	0,080
M07	12°13’21,16455739”S	0,043	60°36’23,09990014”W	0,020	350,267	0,034
M08	12°13’39,43909126”S	0,014	60°41’14,28463100”W	0,009	377,183	0,025
M09	12°08’28,17029265”S	0,020	60°43’29,65352894”W	0,016	375,482	0,043
M10	12°05’05,87342943”S	0,025	60°45’20,83762171”W	0,017	362,713	0,038
M11	11°59’43,38457859”S	0,013	60°41’48,62472137”W	0,007	286,465	0,019
M12	12°02’28,63625342”S	0,013	60°40’46,29630775”W	0,007	300,284	0,019
M13	12°07’55,51857089”S	0,013	60°37’36,35922915”W	0,007	304,460	0,020
RN754X	11°26’55,48101000”S	0,000	58°43’24,90455000”W	0,000	422,421	0,000
MTJI	12°30’16,88551318”S	0,016	60°28’17,41611203”W	0,011	328,242	0,030
ROJI	10°51’50,04319000”S	0,000	61°57’34,97536000”W	0,000	182,881	0,000

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

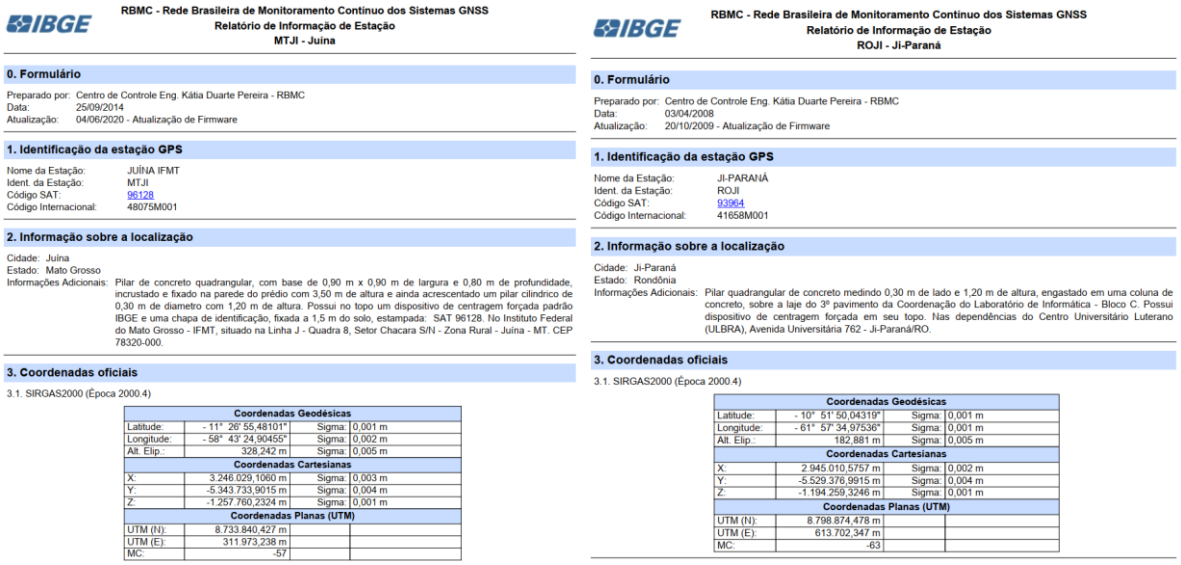
O processo de diferenciação entre as observações simultâneas permite reduzir os erros inerentes às observações, uma vez que quanto menor for a distância entre os receptores (linha de base), mais similares serão os erros, permitindo determinação de coordenadas com precisão centimétrica. Neste método, a sessão de rastreio se estende por um longo período. Para tanto, foi adotada recomendações de valores constantes na Tabela 6 para o transporte das coordenadas dentro da rede de apoio geodésico.

Após implantação dos marcos geodésicos, o rastreio foi feito conforme da normativa, ou seja, rastreio duplo, com mínimo de 2h00min, com variação da altura. Em média, dois a três marcos foram rastreados por dia.

Tabela 6 – Estimativa de Precisão para Posicionamento GNSS Relativo

Linha de Base (km)	Tempo Mínimo (minutos)	Observáveis	Solução da Ambiguidade	Efemérides
0 – 10	20	L1 ou L1/L2	Fixa	Transmitidas ou Precisas
10 -20	30	L1/L2	Fixa	Transmitidas ou Precisas
10 – 20	60	L1 ou L1/L2	Fixa	Transmitidas ou Precisas
20 -100	120	L1/L2	Fixa ou Flutuante	Transmitidas ou Precisas
100 – 500	240	L1/L2	Fixa ou Flutuante	Precisas
500 – 1000	480	L1/L2	Fixa ou Flutuante	Precisas

Os marcos da RVG foram ajustados através do transporte clássico pela RBMC com dados obtidos de estações das estações de código ROJI (Rondônia Ji-Paraná) e MTJI (Mato Grosso Juína) (Figura 18).



IBGE

RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS
Relatório de Informação de Estação
MTJI - Juína

0. Formulário

Preparado por: Centro de Controle Eng. Kátia Duarte Pereira - RBMC
Data: 25/09/2014
Atualização: 04/06/2020 - Atualização de Firmware

1. Identificação da estação GPS

Nome da Estação: JUÍNA IFMT
Ident. da Estação: MTJI
Código SAT: 96128
Código Internacional: 48075M001

2. Informação sobre a localização

Cidade: Juina
Estado: Mato Grosso
Informações Adicionais: Pilar de concreto quadrangular, com base de 0,90 m x 0,90 m de largura e 0,80 m de profundidade, incrustado e fixado na parede do prédio com 3,50 m de altura e ainda acrescentado um pilar cilíndrico de 0,30 m de diametro com 1,20 m de altura. Possui no topo um dispositivo de centragem forçada padrão IBGE e uma chapa de identificação, fixada a 1,5 m do solo, estampada: SAT 96128. No Instituto Federal do Mato Grosso - IFMT, situado na Linha J - Quadra 8, Setor Chacara S/N - Zona Rural - Juina - MT. CEP 78320-000.

3. Coordenadas oficiais

3.1. SIRGAS2000 (Época 2000.4)

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	- 11° 26' 55,48101"	Sigma:	0,001 m
Longitude:	- 58° 43' 24,90455"	Sigma:	0,002 m
Alt. Elip.:	328,242 m	Sigma:	0,005 m
Coordenadas Cartesianas			
X:	3.246.029,1060 m	Sigma:	0,003 m
Y:	-5.343.733,9015 m	Sigma:	0,004 m
Z:	-1.257.760,2324 m	Sigma:	0,001 m
Coordenadas Planas (UTM)			
UTM (N):	8.733.840,427 m		
UTM (E):	311.973,238 m		
MC:	-57		

IBGE

RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS
Relatório de Informação de Estação
ROJI - Ji-Paraná

0. Formulário

Preparado por: Centro de Controle Eng. Kátia Duarte Pereira - RBMC
Data: 03/04/2008
Atualização: 20/10/2009 - Atualização de Firmware

1. Identificação da estação GPS

Nome da Estação: JI-PARANÁ
Ident. da Estação: ROJI
Código SAT: 93964
Código Internacional: 41658M001

2. Informação sobre a localização

Cidade: Ji-Paraná
Estado: Rondônia
Informações Adicionais: Pilar quadrangular de concreto medindo 0,30 m de lado e 1,20 m de altura, engastado em uma coluna de concreto, sobre a laje do 3º pavimento da Coordenação do Laboratório de Informática - Bloco C. Possui dispositivo de centragem forçada em seu topo. Nas dependências do Centro Universitário Luterano (ULBRA), Avenida Universitária 762 - Ji-Paraná/RO.

3. Coordenadas oficiais

3.1. SIRGAS2000 (Época 2000.4)

Coordenadas Geodésicas			
Latitude:	- 10° 51' 50,04319"	Sigma:	0,001 m
Longitude:	- 61° 57' 34,97536"	Sigma:	0,001 m
Alt. Elip.:	182,881 m	Sigma:	0,005 m
Coordenadas Cartesianas			
X:	2.945.010,5757 m	Sigma:	0,002 m
Y:	-5.529.376,9915 m	Sigma:	0,004 m
Z:	-1.194.259,3246 m	Sigma:	0,001 m
Coordenadas Planas (UTM)			
UTM (N):	8.798.874,478 m		
UTM (E):	613.702,347 m		
MC:	-63		

Figura 18 – Estações RBMC ROJI (a esq.) e RBMC (a dir.).

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

Tabela 7 – Localização e descrição dos marcos geodésicos pertencentes a RVG.

MARCO	DESCRITIVO	LATITUDE	LONGITUDE
M01	Localizado no entroncamento da RO-482 e BR-364, ao lado da Placa de Identificação da Usina Rondon II.	12°01'41,58420769"S	60°46'27,65287251"W
M02	Localizado ao lado do escritório do Viveiro de Eucalipto pertencente a Usina Rondon II.	11°56'29,46742426"S	60°43'48,20626565"W
M03	Localizado no entroncamento das Linhas 70 com 150.	11°56'44,60583760"S	60°37'02,34029293"W
M04	Localizado no entroncamento das Linhas 180 com 70.	11°59'46,14426057"S	60°33'11,68451111"W
M05	Localizado em Frente ao último Poste da Linha 180, antes da porteira.	12°04'57,41003860"S	60°33'11,68451111"W
M06	Localizado em frente à entrada da Fazenda Palmital	12°13'27,28260982"S	60°31'40,43985495"W
M07	Localizada no entroncamento das Linhas que passam pela Fazenda Capim	12°13'21,16461206"S	60°36'23,09987995"W
M08	Localizado no Canteiro do Posto Guaporé, na Rodovia BR-364 – Vila Guaporé.	12°13'39,43896431"S	60°41'14,28466534"W
M09	Localizado na BR-364 km118, no Poste ao lado da Porteira da Fazenda Estrela Dalva	12°08'28,17028499"S	60°43'29,65362789"W
M10	Localizado na BR-364 km124, na entrada para o Alagado, em frente a placa Alagado 11km.	12°05'05,87342943"S	60°45'20,83762171"W
M11	Localizado no Barramento da Usina Rondon II.	11°59'43,38457859"S	60°41'48,62472137"W
M12	Localizado no fim da linha 30 próximo ao Alagado, em frente a porteira das terras do Sr. João.	12°02'28,63625342"S	60°40'46,29630775"W
M13	Localizado no fim da linha 70, em frente a 2 porteiras.	12°07'55,51857089"S	60°37'36,35922915"W

5.3.3 Elaboração do Modelo Geoidal Local (MGL)

A determinação da geração de um MGL foi baseada na análise dos dados oriundos da RVG. O MOGL elaborado devido a versão mais recente do MOG elaborado pelo IBGE ter apresentado qualidade posicional inferior a 0,2 m, sendo a Raiz Quadrada do Erro Médio (do inglês, *Root Mean Square Error*, RMSR) igual a 0,9596 m.

Do total de marcos planejado e implantado para a constituição da RVG, aproximadamente 20% destes foram utilizados para validação do MOGL.

A análise da qualidade posicional do MOG do MapGeo 2015 foi realizada por meio dos dados disponíveis no Banco de Dados Geodésicos do IBGE localizados na área de estudo e também pela ondulação gerada a partira das observações da RVG.

Após a coleta dos pontos de coordenadas em campo, fez-se a verificação da ondulação geoidal calculada pelo software MAPGEO 2015. A comparação das ondulações encontradas em campo através do nivelamento e do rastreio GPS das cotas elipsoidais são apresentadas nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8 – Marcos adotados na RVG.

PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	COTA ELIPSOIDAL	COTA NIVELAMENTO	ONDULAÇÃO
M01	12°01'41,58427627"S	60°41'51,10662309"W	361,508	348,335	13,173
M02	11°56'29,46742426"S	60°46'27,65296174"W	325,089	312,433	12,656
M03	11°56'44,60583760"S	60°43'48,20626565"W	342,838	330,679	12,159

M04	11°59'46,14427024"S	60°37'02,34029293"W	369,414	357,317	12,097
M05	12°04'57,41003860"S	60°33'11,24270682"W	345,524	333,236	12,288
M06	12°13'27,28289537"S	60°33'11,68451111"W	342,396	329,933	12,463
M07	12°13'21,16455739"S	60°31'40,44056858"W	350,267	337,522	12,745
M08	12°13'39,43909126"S	60°36'23,09990014"W	377,183	364,113	13,080
M09	12°08'28,17029265"S	60°41'14,28463100"W	375,482	362,306	13,179
M10	12°05'05,87342943"S	60°43'29,65352894"W	362,713	349,466	13,247
M12	12°02'28,63625342"S	60°41'48,62472137"W	300,284	287,542	12,742
M13	12°07'55,51857089"S	60°40'46,29630775"W	304,46	291,774	12,686

Tabela 9 – Diferenças encontradas MAPGEO2015 x Coleta de Campo.

PONTO	ONDULAÇÃO LOCAL	ONDULAÇÃO MAPGEO 2015	RESÍDUO
M01	13,173	14,03	-0,857
M02	12,656	13,68	-1,024
M03	12,159	13,31	-1,151
M04	12,097	13,17	-1,073
M05	12,288	13,29	-1,002
M06	12,463	13,43	-0,967
M07	12,745	13,67	-0,925
M08	13,080	14,08	-1,001
M09	13,179	14,16	-0,981
M10	13,247	14,13	-0,883
M12	12,742	13,72	-0,978
M13	12,686	13,72	-1,034
RN754X	13,684	14,07	-0,386

A figura abaixo ilustra a ondulação geoidal para os pontos da RVG para o MOG oriundo do MapGEO e do MOGL. Uma vez que os dados são espacialmente distribuídos, espera-se, pela representação bidimensional dos dados apenas destacar a magnitude da variação para cada modelo em relação ao mesmo ponto. As maiores variações foram observadas para o ponto de número três, correspondente ao marco M03 da RVG, com erro absoluto de 1.151 m e erro relativo de 9,46%. O menor erro foi observado para o marco RN754X, com erro absoluto de 0,386 m e 2,821% de erro relativo.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

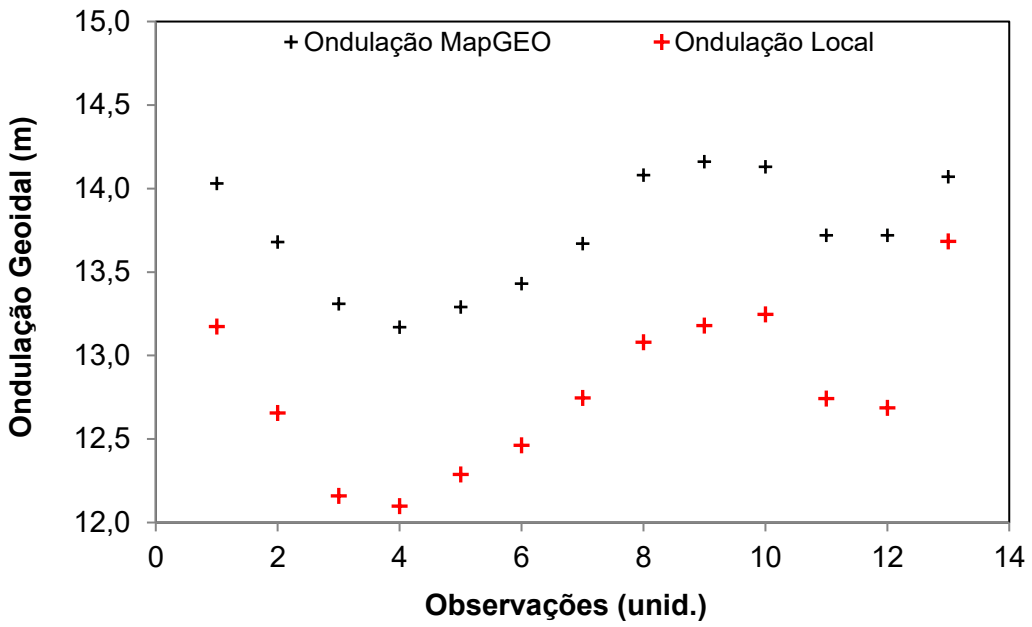


Figura 19 – Ondulação geoidal local x ondulação geoidal oriunda do MapGeo.

Por análise gráfica (Figuras 20) conclui-se que o modelo obtido pelo MapGEO pode ser considerado inexato e de baixa precisão para a região de interesse, subentendendo-se que a superestimação das simulações adotadas durante a modelagem realizada para geração desse modelo e disponíveis no MapGEO, é devida a indisponibilidade de dados.

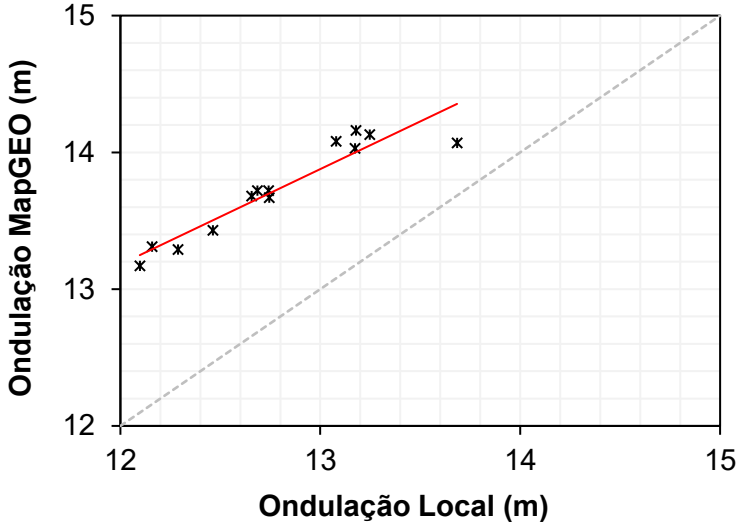


Figura 20 – Ajuste de função afim entre a Ondulação geoidal local x ondulação geoidal oriunda do MapGeo.

Observou-se um gradiente de redução dos desvios relativos com o aumento no valor de ondulação geoidal. O desvio relativo médio foi de 7,42%, já o desvio absoluto médio de 0,94 m. Como esperado, o RN754X apresentou o menor erro dentre os pontos medidos. Nenhum ponto apresentou acurácia superior a 0,2 m.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

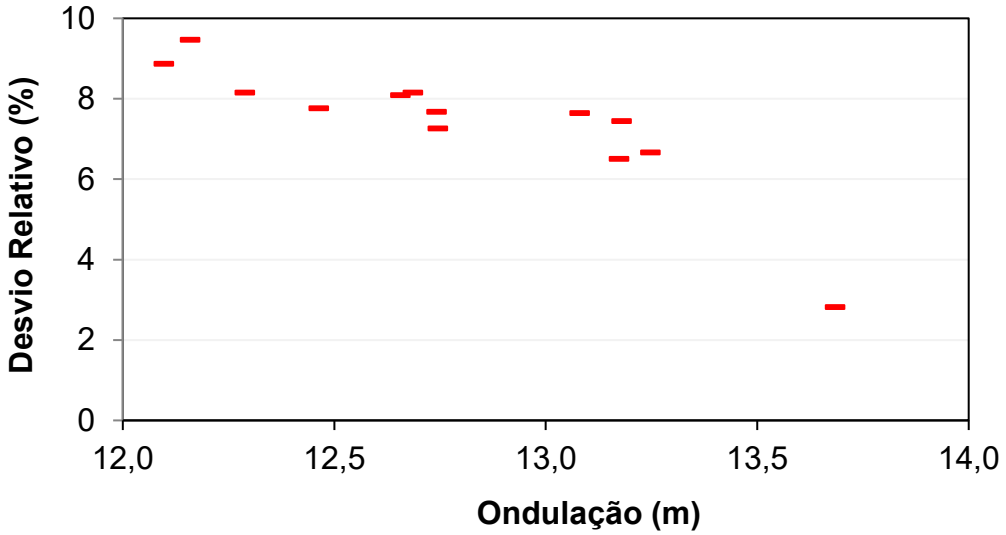


Figura 21 – Resíduos entre a Ondulação geoidal local x ondulação geoidal oriunda do MapGeo.

O coeficiente de correlação de Pearson (Tabela 10) entre os MOG foi de 0,94, de forma que 94% da variabilidade observada no MOG_{local} também é correspondente ao do MapGEO. O coeficiente de determinação dos valores observados correspondendo a 0,89, uma vez que a função afim não representa a capacidade de predição da modelagem, a análise desse coeficiente se limita apenas a dispersão dos pontos em torno da reta. Assim sendo, considera-se que a dispersão foi mínima, porém, com base nos parâmetros de ajusta da reta, ou seja, os coeficientes angular, (B_0) e de inclinação (B_1), observa-se forte deslocamento da origem com 4,82 e inclinação de 34,87º, 10,12º a menos de um inclinação com perfeito ajuste.

Tabela 10 – Índices estatísticos do desempenho.

Sigla	Mín Quad	Satisfatório
R	0.943	≥ 0,7
R^2	0.889	≥ 0,5
β_0	4.821	0
β_1	0.697	1

Diferentes métodos de interpolação (Tabela 11) foram comparados para avalizar a acurácia entre os mesmos na estimativa do MOGL. O método *Radial Basis Function* apresentou os menores erros em relação aos demais interpoladores e, portanto foi o método escolhido para a interpolação do MOGL (Figura 22).

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

Tabela 11 – Estimativa dos diferentes métodos de interpolação das amostras da RVG, adotados para obtenção do MOGL.

MARCO	Alt. Elips.	Alt. Ortom.	OGL	Métodos de interpolação				
				Trend 1º Ordem	*Trend* 2º Ordem	*Trend* 3º Ordem	Spline	*Radial Basis Function*
M01	361.508	348.335	13.173	13.1277	13.1880	13.1821	13.1743	13.1743
M02	325.089	312.433	12.657	12.7357	12.6644	12.6543	12.6566	12.6566
M03	342.838	330.679	12.160	12.2329	12.1566	12.1608	12.1599	12.1595
M04	369.414	357.317	12.097	12.0534	12.0857	12.0980	12.0977	12.0973
M05	345.524	333.236	12.289	12.2445	12.3171	12.2863	12.2900	12.2897
M06	342.396	329.933	12.463	12.4415	12.4553	12.4669	12.4650	12.4646
M07	350.267	337.522	12.745	12.7912	12.7345	12.7388	12.7449	12.7450
M08	377.192	364.113	13.080	13.1691	13.0969	13.0813	13.0793	13.0793
M09	375.485	362.306	13.180	13.1494	13.1726	13.1835	13.1786	13.1788
M10	362.713	349.466	13.248	13.1667	13.2266	13.2346	13.2471	13.2471
M12	300.284	287.542	12.742	12.7260	12.7290	12.7432	12.7431	12.7432
M13	304.460	291.774	12.687	12.6843	12.6948	12.6914	12.6858	12.6857

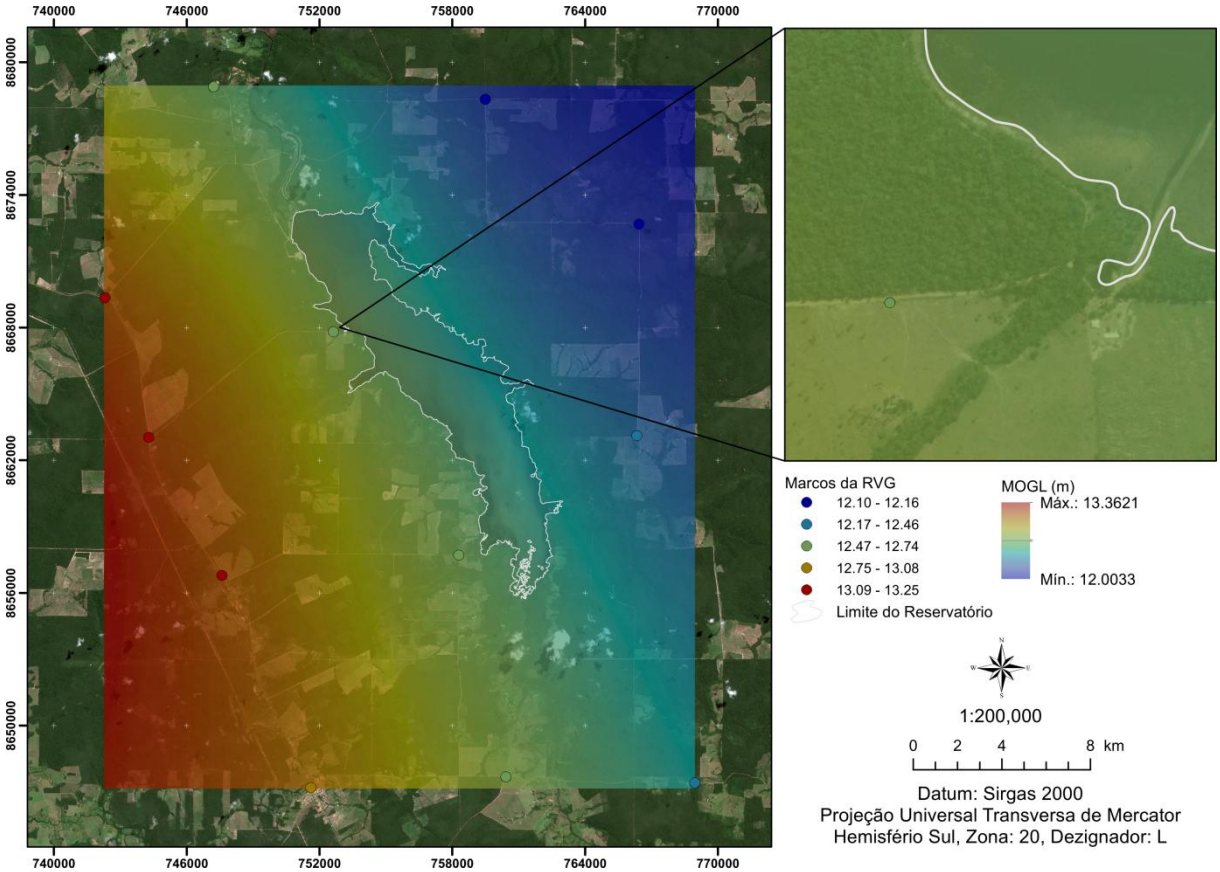


Figura 22 – Modelo de Ondulação Geoidal Local estimado pelo método de *Radial Basis Function*.

5.4 BATIMETRIA

Abaixo, segue a lista de procedimentos norteadores que foram adotados para execução das campanhas em campo para levantamentos batimétricos.

a) Planejamento das linhas de sondagem, com verificação do espaçamento entre as mesmas, em função da ordem do levantamento pretendido (precisão) e da profundidade *in loco*;
a) Orientação transversal das linhas de sondagem à direção predominante das linhas isobatimétricas;
b) Disposição das linhas de sondagem de forma regular, adotando-se conformações paralelas, circulares, radiais, em zigue-zague e/ou aleatórias de acordo com as condições de campo, geometria da unidade de estudo, presença de ilhas, dentre outros, recursos materiais, objetivo do trabalho e recursos humanos disponíveis;
c) Definição dos "Datas" horizontais e verticais. No primeiro caso, pela legislação atual, foi adotado o Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000; no segundo caso adotou-se o nível médio do corpo hídrico durante o período de levantamento batimétrico.
d) Determinação dos valores de offset entre os sensores dos diversos sistemas instalados a bordo. Estes valores foram medidos com a embarcação na água. Será estabelecido um ponto de referência no casco para auxiliar na medição da profundidade de imersão do transdutor (*waterline*) durante o período da sondagem, além da verificação diária desta imersão e correta configuração no sistema de sondagem;
e) Configuração do ecobatímetro com os valores corretos de velocidade do som para a área de sondagem, propiciando o cálculo correto das profundidades;
f) Quando foram detectados perigos a navegação, realizou-se, sempre que possível, o adensando o espaçamento das linhas de sondagem sobre a região, a fim de possibilitar a delimitação do mesmo (listagem de coordenadas) e a definição de sua profundidade mínima;
g) A interseção entre as seções transversais e longitudinais foram consideradas para a detecção de erros grosseiros ou sistemáticos.
h) Na embarcação móvel, o sistema de posicionamento DGPS permaneceu interligado com a sonda batimétrica (chamada por eco-sonda) através do software Powernave, registrando ao mesmo tempo o posicionamento e a profundidade, adquiridos com uma frequência pré-definida.

5.4.1 *Ecobatímetro South* SDE-28S

O equipamento adotado para levantamento batimétrico foi o modelo South SDE-28S (Figura 23, Tabela 12), com especificações descritas a seguir:

- Ecobatímetro profissional 38outh SDE 28S com alta performance de fácil operação e com sistema operacional Windows;
- Display colorido LCD com ajuste de brilho, *touchscreen*;
- Suporta comunicação nmea-0183 que permite acoplar um GNSS para obter informações de orientação via satélite;
- Armazena dados de profundidade das últimas 24 horas e possibilita a revisão dos mesmos;

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

- Software SDE: software desenvolvido para realizar coleta de profundidades em tempo real, possibilitando a geração e armazenamento do ecograma digital e impressão do mesmo;
- Software Powernav: possui a função de receber dados nmea de qualquer receptor. Possui gerenciador de obras, sistemas de referência pré-definidos (sirgas), sistema gráfico de navegação, informações de posição, qualidade da navegação, e outras funções importantes para projetos de engenharia.

Figura 23 –Ecobatímetro 39outh SDE-28S (à esquerda) e Hemisphere GPS – A325 GNSS Smart Antenna (à direita)

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

Tabela 12 – Especificações gerais do ecobatímetro

CARACTERÍSTICA	ESPECIFICAÇÃO
Alimentação externa	110 – 265 V AC E 9 – 15V DC
Ângulo de abertura	7°
Calado	0 – 9.9 M
Comunicação	2 PORTAS USB | 2 PORTAS RS-232
Dimensões	35 X 29 X 14 CM
Display	COLORIDO LCD
Espaço em disco	4 GB VIA CARTÃO CF
Frequência	200 KHZ
Memória ram	1 GB
Peso	7.5KG
Precisão da profundidade	±1CM ±0.1%.D
Processador	1.60GHZ
Profundidade	0.3 – 300M
Resolução de profundidade	0.01 M
Saída de dados	SOUTH, SDH-13D, DES025, INN455, ODOM
Saída de energia	ACIMA DE 300 W
Sistema operacional	WINDOWS XP
Suporta	COMUNICAÇÃO NMEA-0183
Tamanho da tela	12.1 POLEGADAS
Teclado e mouse	SIM
Temperatura de operação	-30°C ATÉ +60°C
Touchscreen	SIM
Velocidade do som	1300 – 1700M/S

5.4.2 Mapeamento da Área Molhada do Reservatório

O levantamento batimétrico do reservatório foi realizado com uma malha de pontos geodésicamente definidos (latitude e longitude) e com sua respectiva profundidade. A execução deste foi efetuada por meio de ecobatímetros de feixe único (*single beam*). O corpo principal do reservatório, braços, afluentes e canais foram amostrados por linhas regulares de sondagem (LS) equidistantes, dispostas de forma transversal e longitudinal às curvas isobatimétricas da área.

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

$$E_{ST} = \frac{0{,}35A^{0{,}35}}{D} \qquad (4)$$

nas quais:

E_{ST} = equidistância das seções topobatimétricas transversais, em km;

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

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

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

Com respeito ao levantamento propriamente dito, esse compreendeu duas componentes: o posicionamento planimétrico da embarcação e a mensuração da profundidade. O posicionamento supracitado foi executado com o auxílio de um ecobatímetro da marca South SDE 20, sincronizado com DGPS Hemisphere com sinal OmniSTAR XP com precisão de posicionamento centimétrica (≤ 10 cm) .

Com respeito à mensuração das profundidades, a mesma foi executada continuamente, com registro de ecogramas digital, com precisão da medição isolada melhor ou igual a 20 cm, devidamente instalado na lateral da embarcação, a qual se deslocou numa velocidade condizente com o fluxo d' água garantindo a coleta mínima de 1 ponto a cada 2 metros ao longo da linha de sondagem percorrida.

O valor final das isóbatas do reservatório foi resultado da profundidade mensurada em campo devidamente corrigida devido às flutuações operacionais daqueles. Para tal, foram instaladas três seções de réguas limnimétricas, com Referência de Nível (RN) associada com a cota atrelada ao mesmo referencial altimétrico que definiu o nível operacional normal (Tabela 13 e Figura 24). As leituras foram realizadas concomitantemente ao levantamento em passo de tempo de 1 hora. A quantidade de réguas utilizadas para a correção altimétrica a partir do nível local foi definida em função da inclinação da linha d'água do reservatório.

Na ficha descritiva atualizada da estação hidrometeorológica de Barramento da UHE Rondon II (código 15552570), consta a cota 256,221 m como altitude ortométrica na cota arbitrária da régua equivalente ao zero. A ondulação geoidal obtida pelo MapGeo 2015 v.1.0, para a localização do ponto em questão, correspondeu a 13,7 m, já do MOGL correspondeu a 12,684 m. A correção da altitude se deu pelo uso da ondulação geoidal local do MOGL, passando para a altitude de 257,2372 m.

Tabela 13 – Estatística descritiva para os dados de nível do reservatório.

Régua	1	2	3	Barramento
RN Elipsoidal	283,99	283,41	283,68	286,62
RN MapGEO	270,38	269,78	269,98	272,92
RN MOGL	271,41	270,69	271,05	-
Cota Arbitrária	14,58	14,58	14,57	-
Nível (m) 12/04/2023 00:00:00	10,68	12	20,62	-
***Offset* do Plano Topográfico**	3,90	2,88	-6,5	-
Zero Ortométrico	256,83	256,11	256,47	256,21
Zero Elipisoidal	269,40	268,83	269,11	268,89
Máximo	271,50	271,08	270,68	269,81
Mínimo	271,32	270,90	270,51	269,60
Amplitude	0,18	0,18	0,17	0,21
Altitude Ortomérica Média Série	271,41	270,99	270,60	269,71
MOGL	12,58	12,72	12,63	12,68

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

MapGEO	13,61	13,63	13,70	13,70
Altitude Elip. Média Série	284,00	283,71	283,23	282,40

Conforme a figura abaixo, o nível das réguas, apresentam consistência física e pequena variação, tanto ao longo do período registrado, como também entre as réguas. Observou-se inconsistência ente o nível da régua 3 e a de barramento, mesmo após remoção de erros sistemático na série de medição. Em função disso, o nível da régua de barramento não foi adotado para o ajuste da amostragem batimétrica.

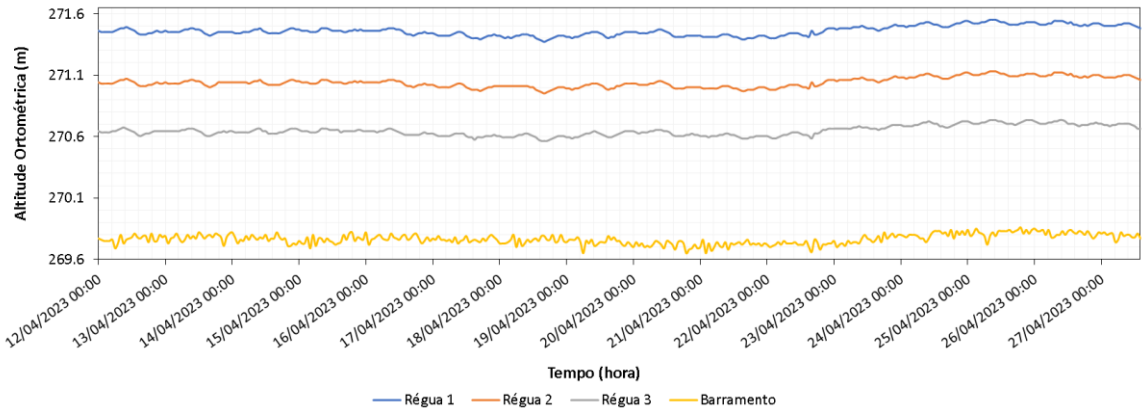


Figura 24 – Série histórica dos dados de nível do reservatório.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

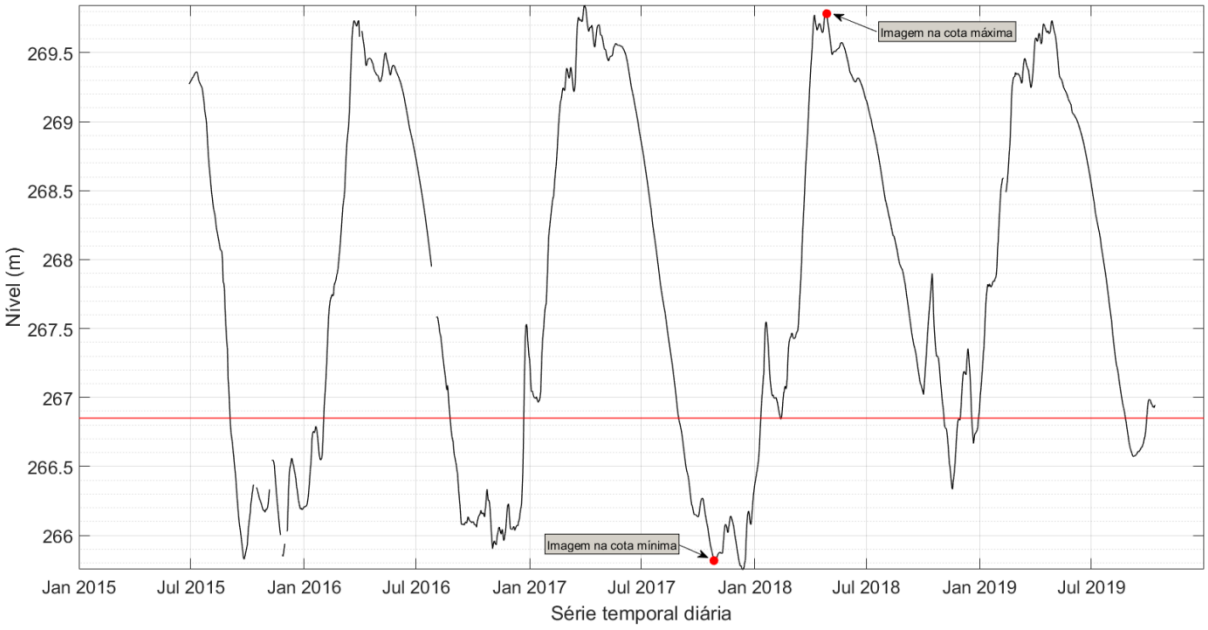
Figura 25 – Campanhas de campo de instalação e monitoramento de réguas liminimétricas.

A antena do GNSS e o transdutor do ecobatímetro foram posicionados sobre o mesmo eixo, de modo a evitar a aplicação de correções de “offset”.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

Para identificação dos níveis operacionais máximos e mínimos praticados pela empresa, realizou-se a consistência e ajuste dos dados da série histórica de nível do reservatório referente à estação fluviométrica de código ANA 15552570 (Figura 26). Buscou-se identificar imagens de plataformas orbitais (p. ex., Sentinel e Landsat), livres de nuvem, e coincidentes às variações mínimas e máximas ao longo da série histórica disponível, as quais foram correspondentes às datas 27/10/2017 e de 08/05/2018, respectivamente.

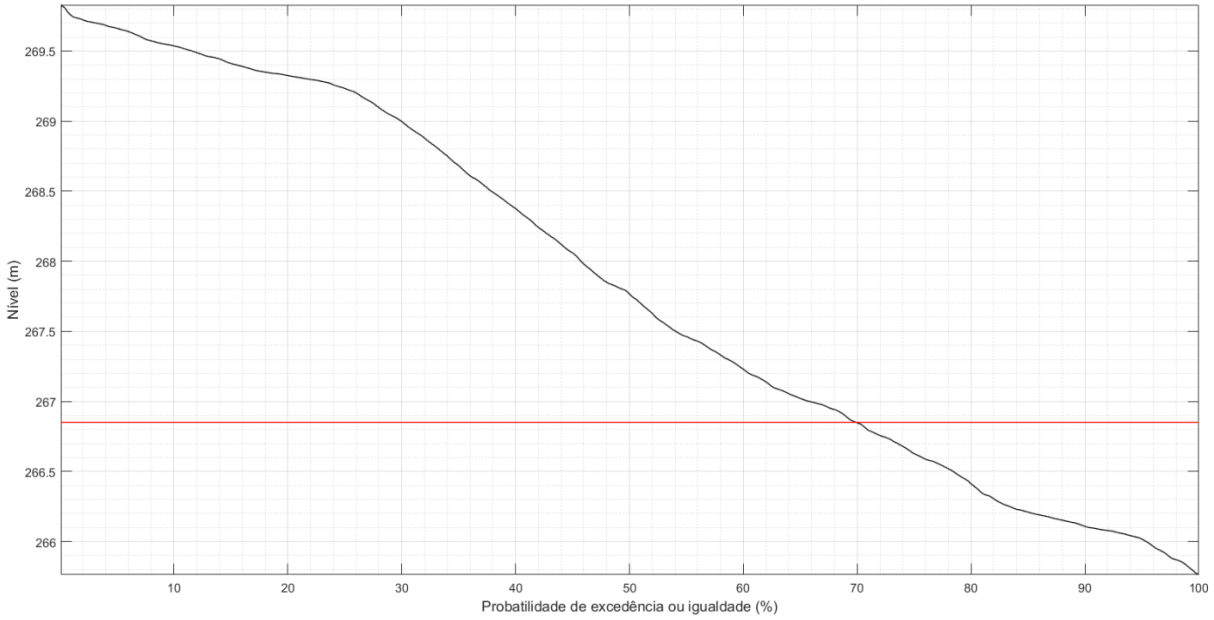
Os níveis do reservatório abaixo da cota 266,85 m (linha vermelha na figura 22 e figura 27) apresentam permanência de 30% de serem menor ou igual ao apresentado, além de ser o período onde se encontram as janelas temporais com oscilações mínimas de nível para cotas baixas do reservatório. Para reservatórios sem presença de vegetação exposta (paliteiro) subentende-se que idealmente as campanhas sejam realizadas em tais períodos, permitindo maior exposição de área seca do reservatório e consequentemente modelagem superficial com procedimentos com maior adensamento de pontos, tais como aerofotogrametria. Entretanto, como o reservatório apresenta significativa quantidade de vegetação exposta, limitando a navegabilidade e expondo à riscos operacionais tanto a embarcação como a tripulação, realizou-se a batimetria no período de cheia (12/04/2023 a 18/04/2023), garantindo que o paliteiro se encontra-se, majoritariamente submerso.



Fonte: o autor

Figura 26 – Série histórica de nível referente à estação fluviométrica de código 15552570.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br



Fonte: o autor

Figura 27 – Curva de permanência da série histórica de nível referente à estação fluviométrica de código 15552570.

No pré-planejamento, com adoção de imagens orbitais, a área do reservatório na cota operacional máxima correspondeu a 64,48 km² e comprimento de 25,507 km, contra 44,84 m² e 20,15 km para a área na cota mínima. Ressalta-se que a área na cota mínima corresponde a uma exposição de aproximadamente 30% reservatório como área seca. Com base na equação 4, a equidistância das seções topobatimétricas transversais correspondeu a 296 m. Frente às especificidades de cada reservatório os critério para definição das linhas de sondagem estimado pela equação 4 foi flexibilizado às adequações propostas pela Agência Nacional de Águas, que sugeri que essa dimensão fosse reduzida para aproximadamente 1/3 desse valor visando representatividade mais adequada da amostragem dos dados, ou seja para 100 m para seções transversais.

Com respeito à equidistância das linhas de sondagem longitudinais, estas foram de 3 vezes as praticadas para as linhas de sondagem transversais, que neste caso corresponderam a dimensão de 300 m.

Em projeto, a amostragem total correspondeu a 212 seções de sondagem transversais, 20 seções de sondagem longitudinais.

As figuras 29 e 30 ilustram as seções de sondagem topobatimétricas resultantes da execução do levantamento batimétrico durante as campanhas amostrais para os anos de 2021 e 2023, respectivamente.

Na primeira campanha, no ano de 2021 (Figura 28), observa-se que apenas o terço inicial do reservatório, e parte do terço médio, foram amostrados, com trechos não acessíveis, sendo inviável o acesso, por completo no terço superior devido as limitações de navegabilidade frente a densa presença de indivíduos arbóreos necrosados.

Na segunda campanha, no ano de 2023 (Figura 29), observa-se que as limitações impostas na primeira campanha, foram superadas com a realização da batimetria sendo realizada em período chuvoso, momento no qual o reservatório apresentava-

se próximo a sua cota máxima normal. Entretanto, trechos de cursos d'água contribuintes, especialmente na porção nordeste, e extremo sul, não foi possível realiza a amostragem. Dessa forma, os dados obtidos para tais regiões foram estimados por processo de interpolação, podendo não refletir a real condição local do terreno.

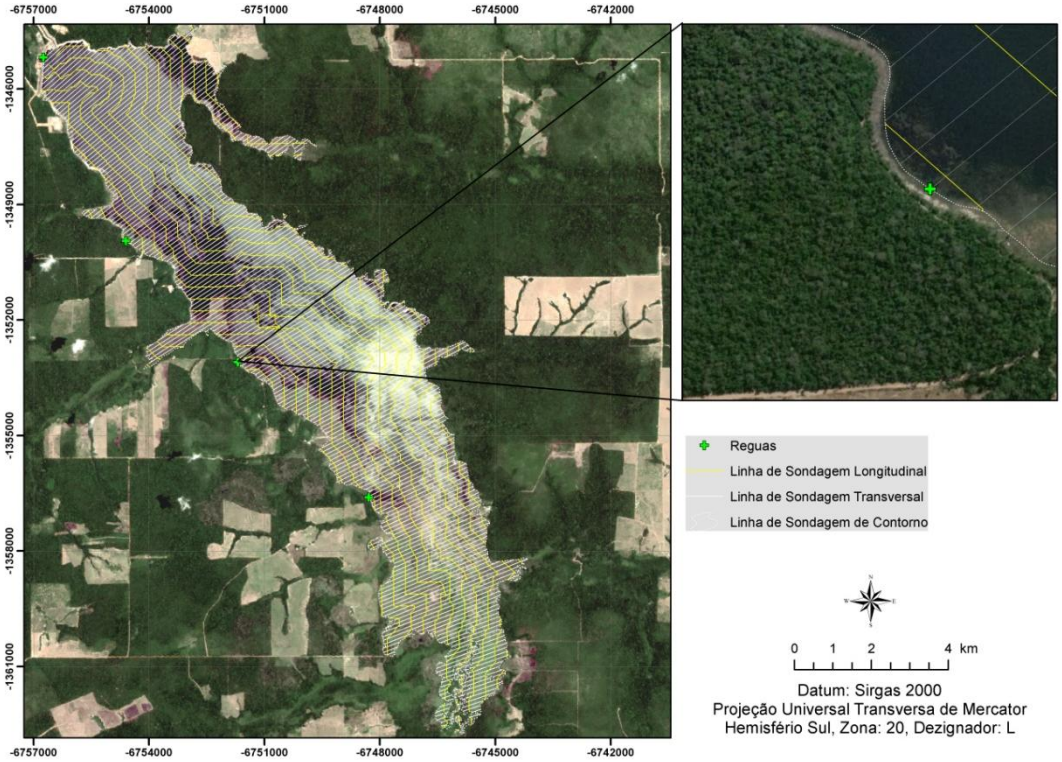


Figura 28 – Distribuição das seções de sondagem topobatimétricas. Imagem de 08/05/2018.

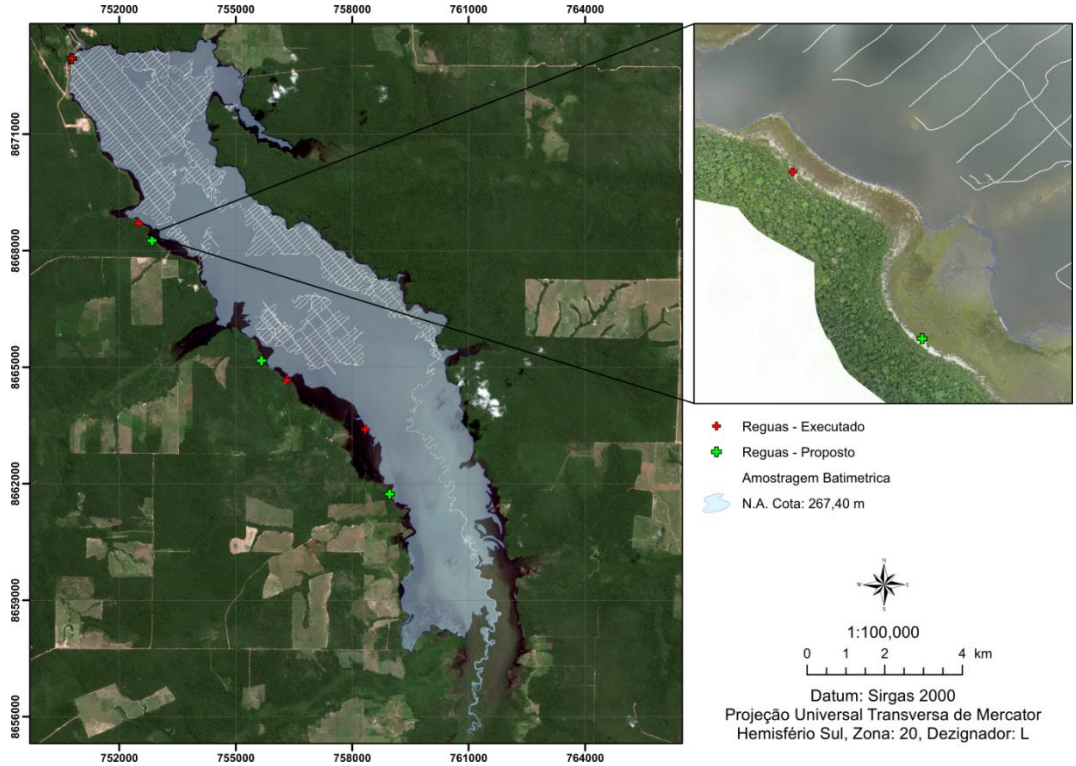


Figura 29 – Distribuição das seções de sondagem topobatimétricas obtida nas campanhas de campo para o ano de 2021.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

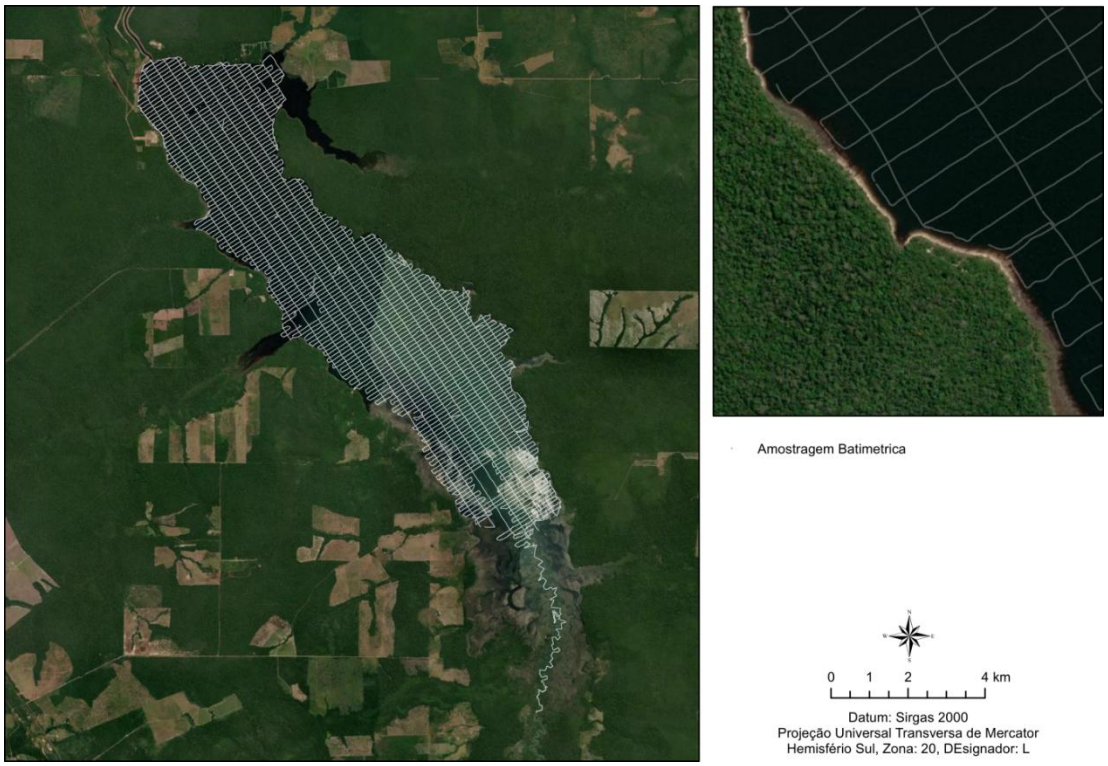


Figura 30 – Distribuição das seções de sondagem topobatimétricas obtida nas campanhas de campo para o ano de 2023.

As imagens da figura 31 ilustra as atuais condições de navegabilidade do reservatório de Rondon 2. É notável que o acesso com embarcações de pequeno porte são limitadas, especialmente nas margens do reservatório e em seu terço superior. O fato descrito impôs restrições operacionais quanto a execução da batimetria do reservatório.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

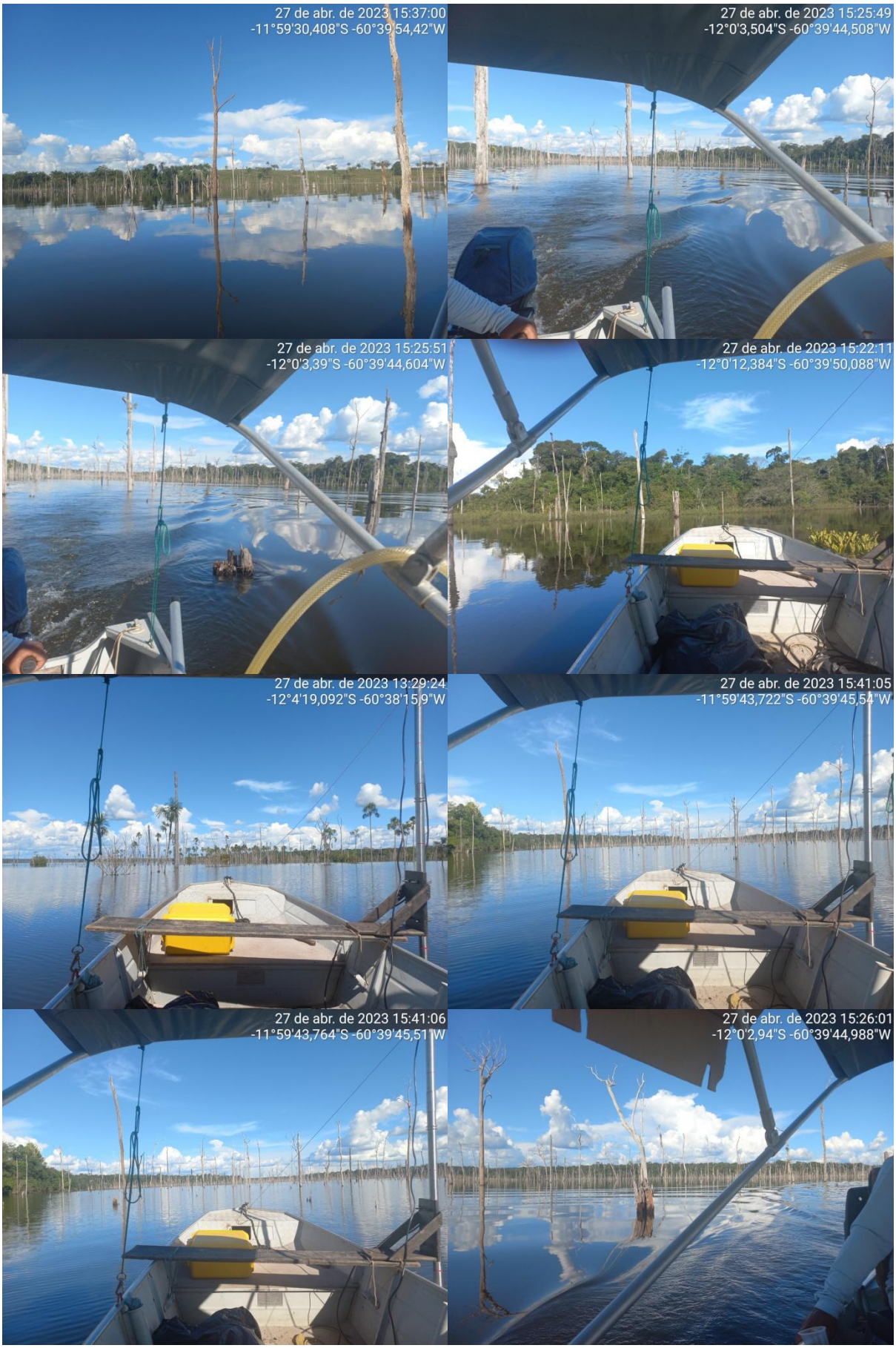


Figura 31 – Ocorrência de “paliteiro” na área inundada do reservatório.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

5.4.3 Implantação das Seções de Controle: Localização e Quantidade

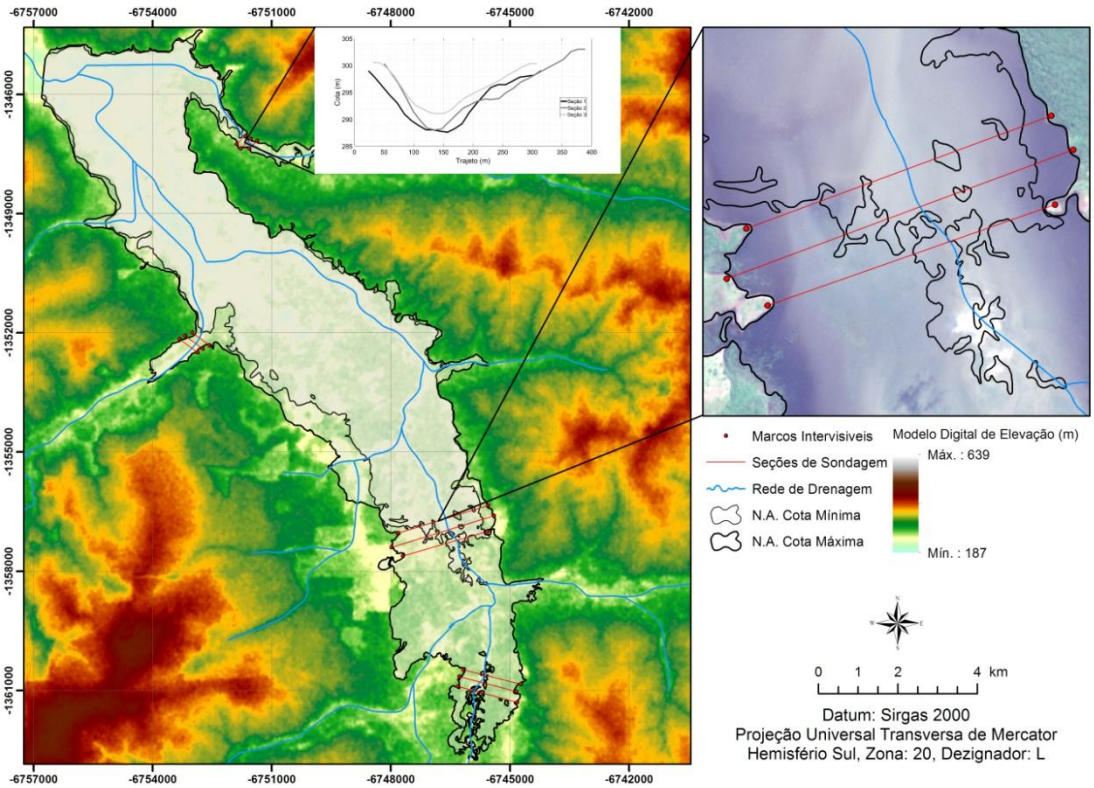
As seções de controle para o monitoramento do assoreamento dos reservatórios são um meio eficiente de acompanhar a evolução dos depósitos sedimentares no leito ou então de comprovar sua inexistência.

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

Os marcos de concreto, definidores das seções topobatimétricas, foram implantados em campo, em local seguro, salvo de danos, afastadas de possíveis obstáculos materiais. Em termos construtivos, os marcos foram confeccionados como previsto em ANA, (2013).

Segundo o nível de criticidade calculado para a área de estudo, dois conjuntos (com três seções de controle topobatimétrico cada) de sondagem topobatimétricas para monitoramento e controle de assoreamento foram instalados.

No plano de trabalho contemplou-se a implantação de quatro seções de sondagem topobatimétricas para monitoramento e controle de assoreamento (Figura 26 e Tabela 14). No quartil superior seriam dispostas duas seções, e duas em braços ativos do barramento, com áreas de contribuição de importância tanto quanto a suas dimensões quanto aos impactos de uso do solo, uma vez que as mesmas têm sofrido alterações significativas (PROJETO MAPBIOMAS, 2019) e tendem a aumentar o nível de assoreamento do reservatório à medida que as alterações de uso e cobertura do solo se intensificam.



Fonte: o autor

Figura 32 – Projeto de distribuição das seções de sondagem topobatimétricas.

Tabela 14 – Localização das seções de sondagem topobatimétricas, conforme proposta. SGR: Sirgas 2000, SPC: UTM, Zona: 20 L.

Seção	Margem	Marcos	Longitude	Latitude
1	Direita	1	-60.588895	-12.132968
	Esquerda	2	-60.601923	-12.129758
	Direita	3	-60.589925	-12.134555
	Esquerda	4	-60.589733	-12.136992
	Direita	5	-60.603129	-12.133450
	Esquerda	6	-60.602832	-12.131296
2	Direita	1	-60.596410	-12.099197
	Esquerda	2	-60.615627	-12.104623
	Direita	3	-60.595007	-12.095742
	Esquerda	4	-60.596315	-12.093458
	Direita	5	-60.616717	-12.099587
	Esquerda	6	-60.618195	-12.102732
3	Direita	1	-60.659351	-12.058059
	Esquerda	2	-60.663238	-12.055220
	Direita	3	-60.664832	-12.055962
	Esquerda	4	-60.666162	-12.056667
	Direita	5	-60.660945	-12.058775
	Esquerda	6	-60.662055	-12.059597
4	Direita	1	-60.653221	-12.013482
	Esquerda	2	-60.651202	-12.011732
	Direita	3	-60.652313	-12.014491
	Esquerda	4	-60.650333	-12.014528
	Direita	5	-60.650036	-12.012404
	Esquerda	6	-60.648515	-12.012797

A proposta inicial de locação das seções de controle foi feita considerando a otimização da eficiência da caracterização do fenômeno, posicionadas nos locais onde são esperados os depósitos de sedimento, em função da morfologia do reservatório, das características do sedimento e do regime de operação, em pontos estratégicos com áreas de contribuição de importância (tributários de bacias com mudanças de uso e cobertura do solo ativa) tanto em relação as dimensões quanto aos impactos de uso do solo.

O reservatório da UHE Rondon 2 apresenta a particularidade de não ter sido completada a supressão da vegetação da área sujeita a inundação no momento de seu estabelecimento. Durante o período citado, ocorreu o rompimento do barramento da PCH Apertadinho, localizada a montante desse, impedindo que fosse continuada a supressão da vegetação. Tal fato culminou na permanência de grandes aglomerados de vegetação florestal, impeditivos a livre navegação no reservatório da UHE Rondon 2, tanto por fatores limitantes a mobilização, mas principalmente por diversos riscos à embarcações como a tripulação desta.

Com base na navegabilidade do reservatório, a nova locação das seções de controle foi feita considerando a otimização da área passível a instalação destas. Para tanto, foi considerada a malha amostral batimétrica que permitiu o delineamento das áreas navegáveis e não navegáveis (Figuras 33 e 34)

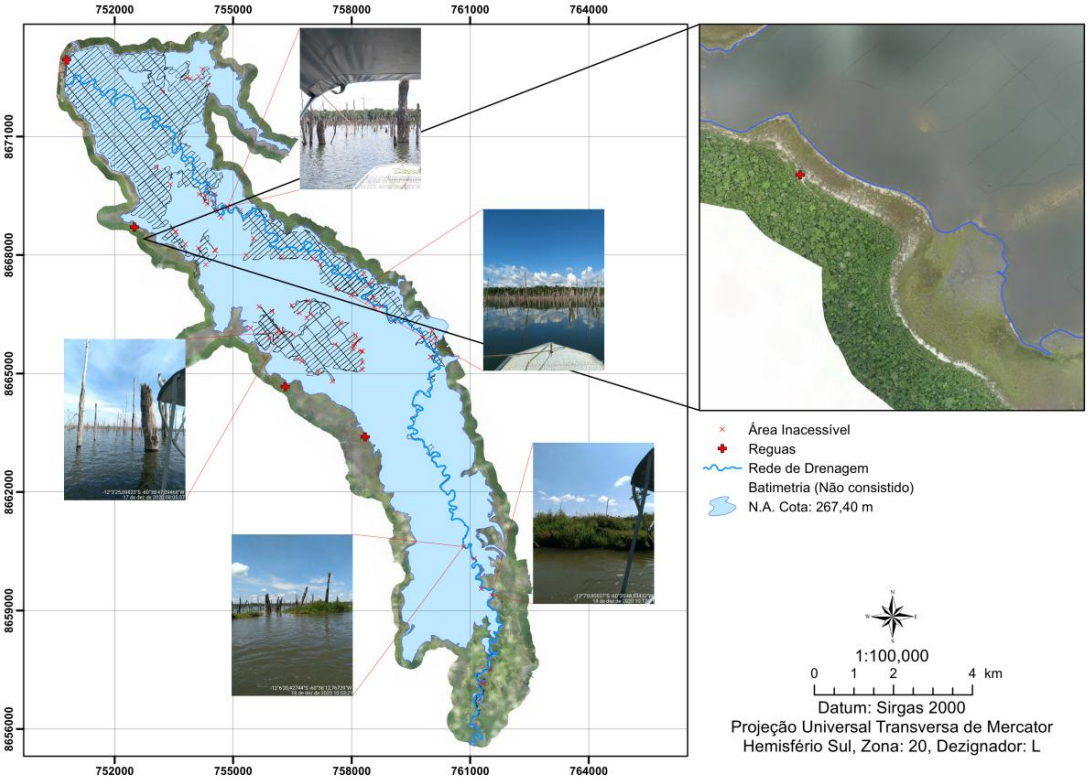


Figura 33 – Identificação das áreas inacessíveis no reservatório.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

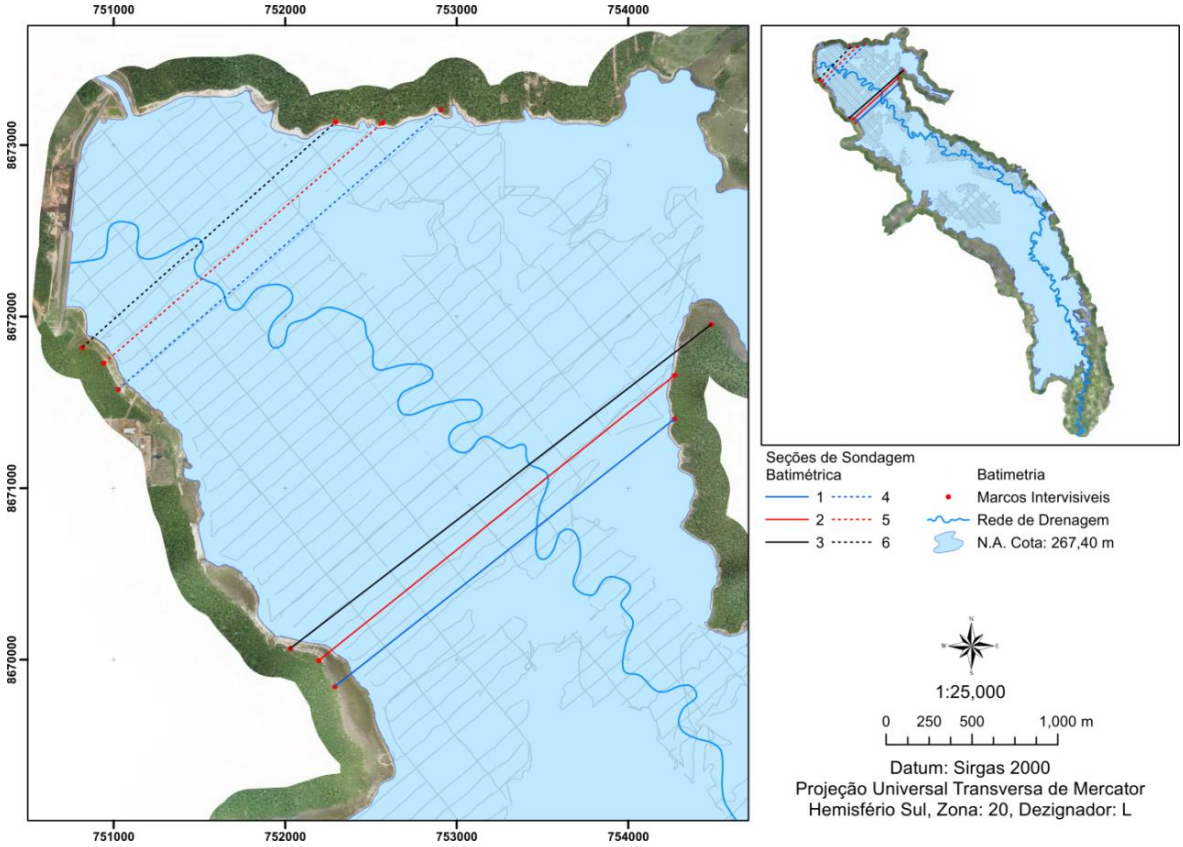


Figura 34 – Distribuição das seções topobatimétricas de controle.

As figuras 35 e 36 ilustram as seções triplas topobatimétricas (obs., a escala da abcissa e ordenada são distintas). A equidistância dos pontos amostrais batimétricos correspondeu aquela especificada para o levantamento das seções de sondagem do reservatório, ou seja, de 2 m.

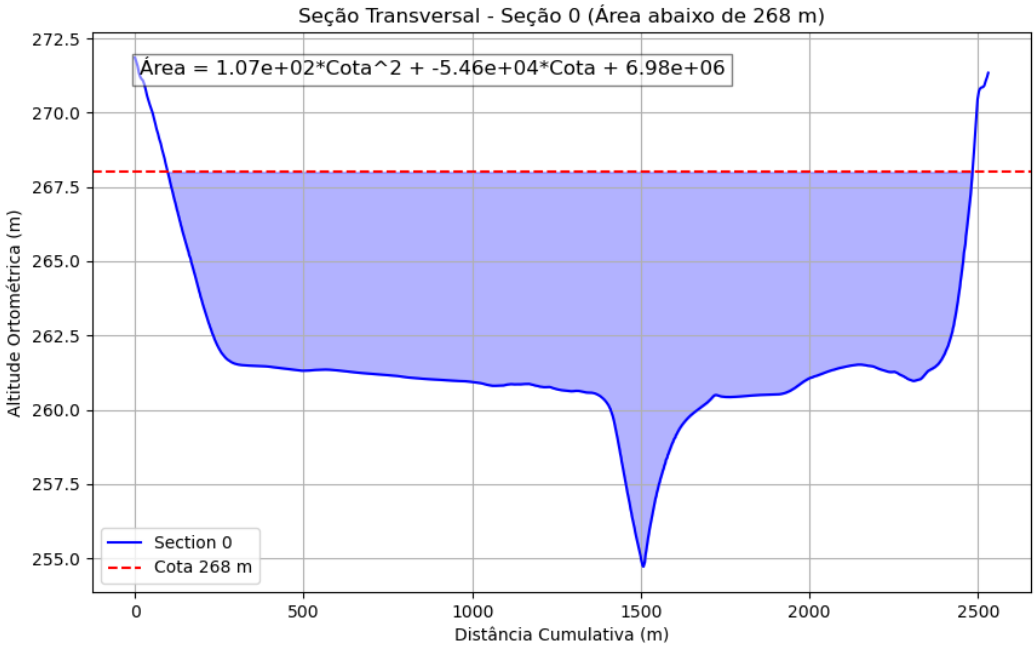


Figura 35.1 – Distribuição das seções topobatimétricas de controle de assoreamento 1.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

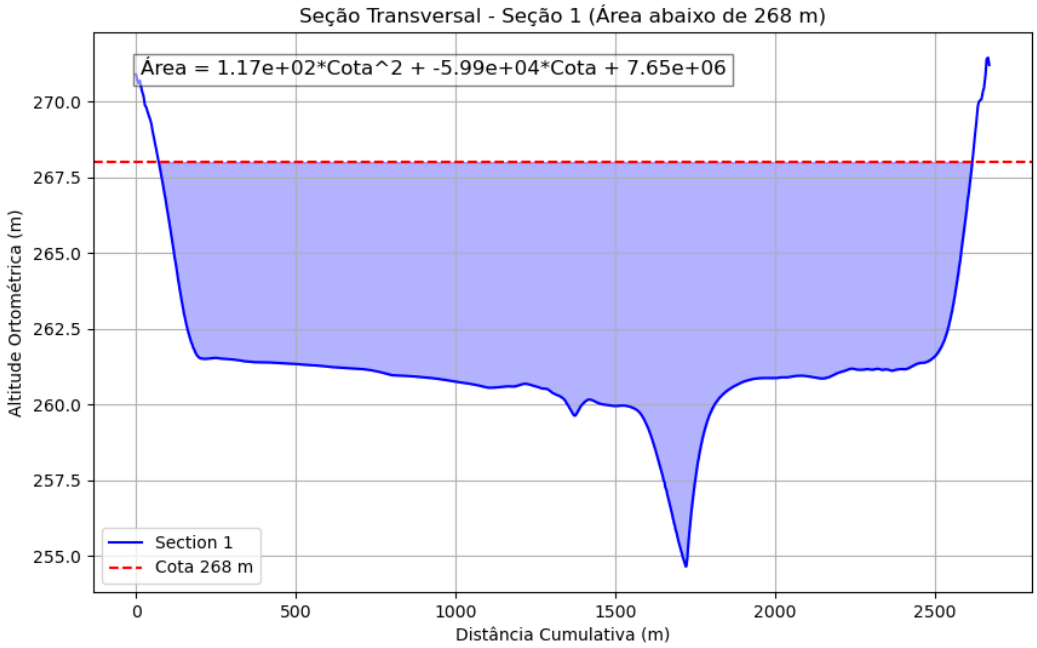


Figura 35.2 – Distribuição das seções topobatimétricas de controle de assoreamento 2.

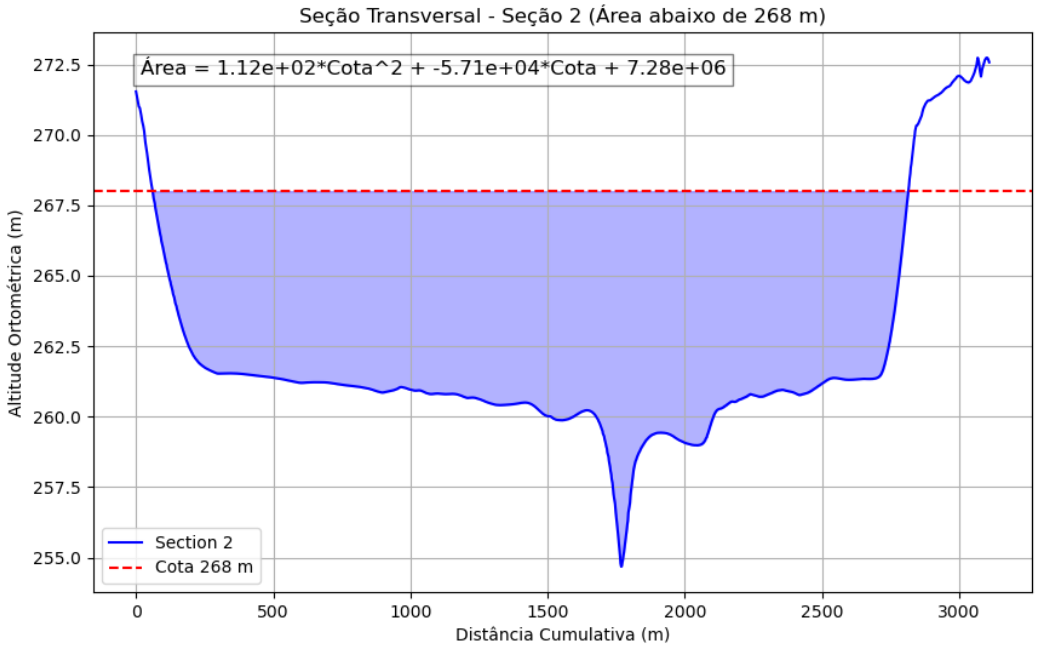


Figura 35.3 – Distribuição das seções topobatimétricas de controle de assoreamento 3.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

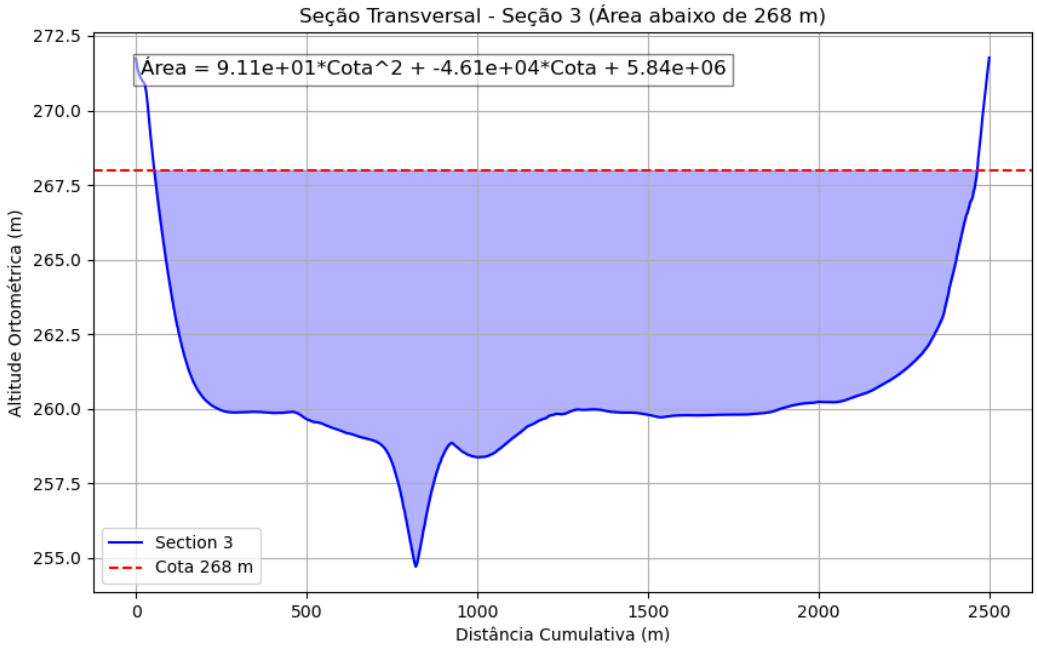


Figura 36.1 – Distribuição das seções topobatimétricas de controle de assoreamento 4.

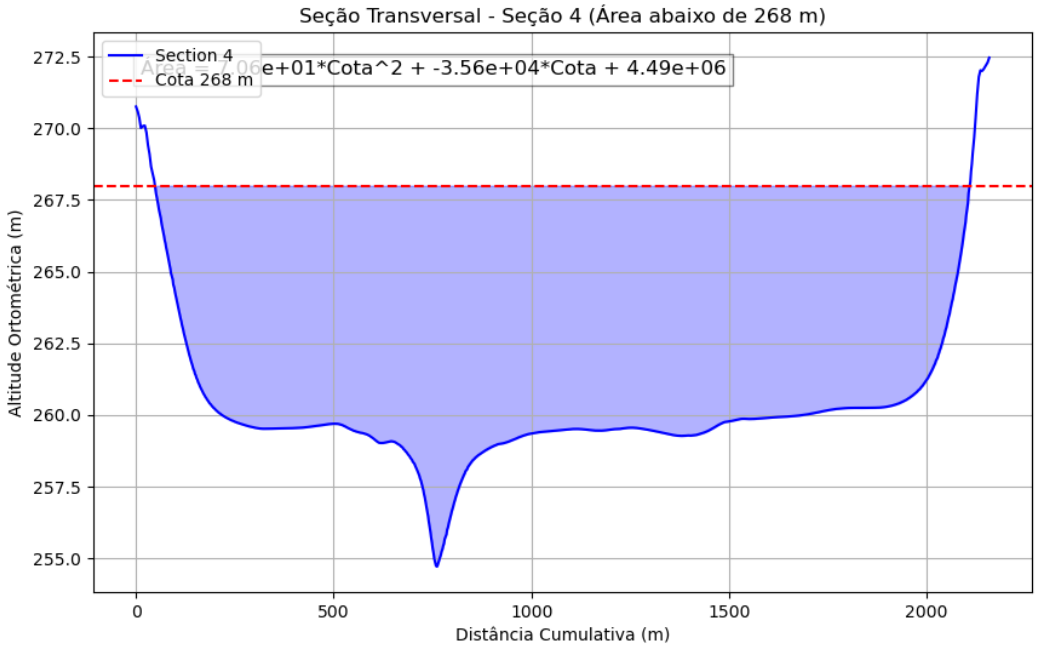


Figura 36.2 – Distribuição das seções topobatimétricas de controle de assoreamento 5.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

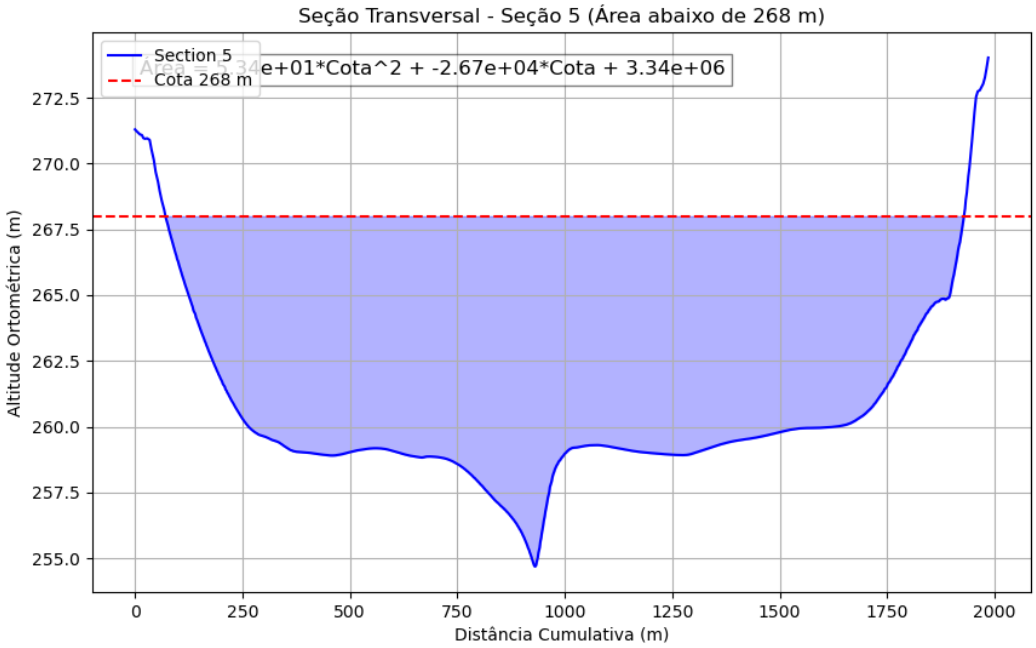


Figura 36.3 – Distribuição das seções topobatimétricas de controle de assoreamento 6.

As equações abaixo estimam a área de cada seção transversal (1 a 6) em função da cota para uma função quadrática.

Área0 = 1.06881274e+02 *Cota² + -5.46441065e+04*Cota + 6.98381972e+06

Área1 = 1. 17111722e+02*Cota² + -5. 98770688e+04*Cota + 7. 65297923e+06

Área2 = 1. 12069768e+02*Cota² + -5. 71149836e+04*Cota + 7. 27604658e+06

Área3 = 9. 11117436e+01*Cota² + -4. 61483496e+04*Cota + 5. 84217791e+06

Área4 = 7. 06400206e+01*Cota² + -3. 56240061e+04*Cota + 4. 48958204e+06

Área5 = 5. 33931071e+01*Cota² + -2. 67299829e+04*Cota + 3. 34306253e+06

Tabela 15 – Localização das seções de sondagem topobatimétricas, conforme executada. SGR: Sirgas 2000, SPC: UTM, Zona: 20 L.

Seção	Nome	Malha Norte (m)	Malha Este (m)	Alt. Elip. (m)	Alt. Ort. (m)	Latitude (gms)	Longitude (gms)
-	BASE M11	8672908.740	750786.290	286.460	271.092	11°59’43,384”S	60°41’48,624”W
1	M01	8671820.370	750816.300	283.810	270.914	12°00’18,780”S	60°41’47,332”W
	M02	8671728.560	750942.410	283.630	271.586	12°00’21,732”S	60°41’43,139”W
	M03	8671576.770	751026.910	284.300	274.661	12°00’26,647”S	60°41’40,305”W
	M04	8673134.320	752293.640	287.260	272.536	11°59’35,635”S	60°40’58,880”W
	M05	8673130.380	752569.170	285.120	272.124	11°59’35,688”S	60°40’49,775”W
	M06	8673204.040	752909.270	284.690	270.902	11°59’33,198”S	60°40’38,557”W
2	M07	8670066.300	752030.260	283.610	270.840	12°01’15,508”S	60°41’06,730”W

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

	M08	8669995.550	752196.670	283.540	270.949	12°01’17,764”S	60°41’01,211”W
	M09	8669843.470	752289.250	283.650	270.759	12°01’22,685”S	60°40’58,109”W
	M10	8671954.670	754484.320	283.280	272.000	12°00’13,406”S	60°39’46,165”W
	M11	8671657.430	754270.130	284.540	271.191	12°00’23,134”S	60°39’53,159”W
	M12	8671402.940	754268.940	283.740	271.092	12°00’31,413”S	60°39’53,127”W

Figura 37 – Campanhas de campo de instalação dos marcos intervisíveis das seções de controle.

5.5 MAPEAMENTO DA ÁREA SECA DO RESERVATÓRIO

Frente às condições e características do objeto de estudo, julgou-se que o método que conserva a melhor relação custo/benefício para o levantamento da área seca do reservatório foi o aerolevantamento com aeronave remotamente pilotada e, portanto, este foi o método adotado para o mapeamento da área seca do reservatório.

5.5.1 Aerolevantamento com aeronave remotamente pilotada

O processo de aquisição das imagens por aerolevantamento englobou um conjunto de ações pré-programadas de maneira a diminuir o risco de perda de qualidade por desfoque devido à vibração e turbulência ou ainda fatores relacionados com o clima.

Em relação à missão, os parâmetros previamente definidos foram: distância focal; velocidade da aeronave, resolução geométrica desejada da fotografia, taxa de sobreposição estereoscópica (na linha de voo); taxa de sobreposição lateral (entre linhas de voo); número de linhas de voo; poligonal; tipo de missão; *ground sample*

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

distance – GSD (dimensão do pixel); altitude de voo; previsão das condições climáticas e intervalômetro (tempo entre as exposições individuais).

A última etapa foi constituída da aplicação de técnicas de processamento digital de imagens para análise de qualidade e derivação de produtos. A metodologia utilizada foi dividida em quatro etapas, ilustrada na Figura 36 e descrita em detalhes na sequência.

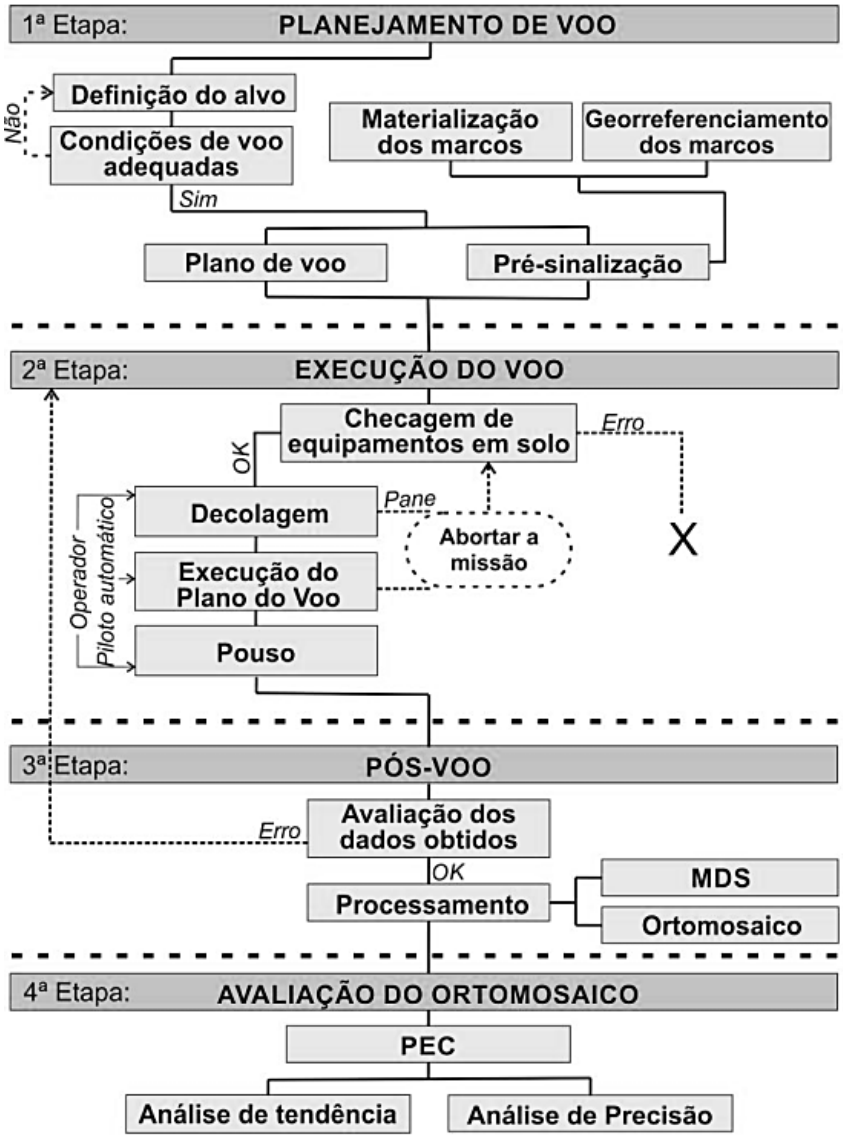


Figura 38 – Fluxograma metodológico a ser empregado para aquisição e avaliação dos dados gerados pelo aerolevantamento

5.5.1.1 Planejamento de voo

Nesta etapa foram caracterizados os alvos sobrevoados, com relação ao tipo de alvo, desnível do terreno, área e geometria da área contemplada pelo alvo. As condições climáticas aceitáveis operacionais foram previstas em escritório com antecedência de 14 dias e acompanhamento das atualizações diariamente. Para um maior grau de confiança, a previsibilidade foi realizada adotando comparação de modelos numéricos de base física para tais previsões, sendo estes: ARPEGE40,

UKMO-17, GEM25, NEMS2-30, GFS22, NEMS10, NMM18, NEMS30 ICON13, COSMO, BAM e WRF.

A autorização de voo se dará por meio da solicitação de um NOTAM (acrônimo de "*Notice to Airmen*") ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), e demais órgãos ligados a Aeronáutica. O objetivo deste documento foi o de obter a autorização para o voo e estabelecer um espaço aéreo segregado para operação da *Remotely Piloted Aircraft* (RPA) de acordo com a categoria (que por sua vez é definido pelo Peso Máximo de Decolagem – PMD da eronave), de forma que a operação não ocorressem em espaço aéreo compartilhado com aeronaves tripuladas, garantindo a segurança da navegação aérea.

5.5.1.2 *Georreferenciamento de pontos de apoio e de validação*

Com todas as condições de voo satisfeitas, foi realizado o plano voo, o qual foi executado pelo "piloto automático" do RPA, e a pré-sinalização da área do sobrevoo, que consistiu em materializar em campo marcações artificiais semi-permanente de pontos de controle no terreno possíveis de serem identificados nas fotografias aéreas.

De acordo com Costa (2012), o objetivo mais comum para os pontos foto-identificáveis pré-sinalizados é proporcionar medições mais precisas das coordenadas dos pontos de apoio necessários na fototriangulação. Uma vez que não existe consenso quanto à densidade pré-definida por extensão territorial, espera-se apenas que toda área de estudo seja contemplada, com maior grau de amostragem nos limites externos do objeto de estudo (em função da menor sobreposição de imagens). A distribuição dos pontos seguiu distribuição aleatória, com priorização das áreas com maior declividade.

Todos os pontos de apoio foram georreferenciados com receptor GNSS – RTK (Figura 37) para obtenção de erro milimétrico e atendimento ao requisito proposto por Merchant (1982), que diz que a precisão requerida para os pontos de verificação deve ser melhor que a terça parte do erro padrão do documento a ser analisado. Para tanto o receptor GNSS foi configurado com relação à máscara de elevação taxa de gravação de precisão crítica. O método de rastreio e o tempo de ocupação foram arbitrados nas condições pontuais de aquisição. O receptor denominado base foi instalado sobre marco disponível na empresa e próximo a área de coleta.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

Figura 37 – Exemplo de ponto de controle. À esquerda, detalhe do ponto de controle e a direita a identificação do mesmo em imagem aérea.

a) Para cada voo, foram dispostos pontos de controle e verificação, bem definidos, e identificáveis nas ortofotos, que fossem inequívocos na sua identificação no terreno;
b) Estes pontos estiveram bem distribuídos na área de abrangência do voo, conformando uma boa geometria espacial;
c) Procedeu-se a ocupação com receptor GNSS-RTK de dupla frequência nos pontos selecionados;
d) Para o levantamento dos vértices para controle de qualidade foram utilizado como referência, os marcos implantados na RVG. O marco utilizado como referência foi o mais próximo do vértice rastreado;
e) As coordenadas obtidas foram analisadas considerando os indicadores de precisão associados;
f) Foi efetuada a análise estatística de tendência e precisão alinhada conforme o Padrão de Exatidão Cartográfica Digital da Infraestrutura de Dados Espaciais (INDE);
g) A partir dos resultados obtidos, efetuou-se o enquadramento do PEC-PCD para a cartografia analisada.

5.5.1.3 *Remotely Piloted Aircraft* (RPA)

O RPA adotado para o aerolevantamento foi o de modelo AR88 da fabricante AeroRobot (Figura 38). A plataforma selecionada apresenta enquadramento da categoria de Classe 3 na legislação do DECEA para voos de RPAs e, portanto, não sujeita as restrições de voo de RPAs de categoria de classe de maior peso, sendo o mesmo oficialmente homologado pela Anatel e cadastrados no SISANT e SARPAS. A aeronave possui seguro RETA (danos contra terceiros) e de casco.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

Figura 38 – RPA modelo AR88.

Figura 39 – Acervo fotográfico das campanhas de aerolevantamento.

5.5.1.3.1 Sensor

Os conhecimentos do tamanho do sensor de imagem e da distância focal da lente da câmera digital são de fundamental importância por determinarem diversos parâmetros do recobrimento fotogramétrico. O tamanho do sensor definirá a área no terreno abrangida pela fotografia aérea individual, enquanto que a distância focal,

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

em função da escala fotográfica desejada, determinará a altura de voo da aeronave (DISPERATI; AMARAL, 2007).

O sensor utilizado para execução do serviço foi o Sony Alpha 20 mp (Figura 40).

Figura 40 – Sensor Sony Alpha 20 mp.

5.5.1.4 Operação de voo

As seguintes condições foram adotadas antes, durante e após a execução dos voos:

- Realizar os checklist, desde o escritório até o final da operação;
- Verificar, em cada operação, os documentos e permissões necessários;
- Ter sempre em conta o cálculo do tempo de voo e o tempo necessário para pousar. Para tanto, monitorou-se as configuração do sistema de acionamento de emergência;
- Para voos programados teve-se sempre presentes as coordenadas GNSS, pois são as rotas de navegação;
- Planejamento dos voos considerando proximidade a obstáculos.
- Considerações sobre precisão em função de condições ambientais e topográficas;
- Respeito à distância mínima de aeroportos, instalações militares ou outras fontes de fortes emissões eletromagnéticas;
- Voo, preferencialmente distante às linhas elétricas e áreas residenciais;
- Considerações sobre interferências de radio pela proximidade áreas de aeromodelismo;
- Inicio do voo com bateria plenamente carregada.

5.5.1.5 Pós-voo

Os trabalhos do pós-voo começaram imediatamente após obtenção dos dados de campo que foram submetidos diariamente para processamento em laboratório. Tal procedimento permitiu tomar de decisão de forma antecipada quanto à necessidade de reamostragens ou outros problemas técnicos-operacionais. Foi realizada análise do voo através do cartão SD, análise das gravações dos dados no *dawlink*, descarga das imagens, verificação dos relatórios de voo e rota de passagem e recarregamento das baterias.

5.5.1.5.1 Processamento e Avaliação de Ortomosaico

As imagens obtidas isoladamente foram processadas para composição de um mosaico contemplando o objeto de estudo em uma única cena.

Apesar do RPA ser equipado com receptores GNSS, eles não são capazes de realizarem um voo em trajetória perfeitamente retilínea, e até mesmo, manter a altitude de voo constante. Essa instabilidade pode ser causada pela velocidade do vento, o que pode provocar problemas de escala e nos recobrimentos longitudinal e lateral (Júnior et al., 2014). O produto final pode ter distorções na geometria das imagens, podendo prejudicar a qualidade do georreferenciamento dos objetos presentes na imagem. Para tanto, uma série de procedimentos foi realizada para o registro da cena visando adequar o produto a um padrão de exatidão cartográfica que corresponda a demanda de aplicação.A figura 41 ilustra a densidade de imagens obtidas mediante a escolha do padrão de grade regular com 80% sobreposição frontal (em relação a direção de voo) e 80% de sobreposição lateral (entre linhas de voo), com manutenção de altura constante sobre o terreno, resultando em, aproximadamente nove ou mais imagens de sobreposição para a área de interesse.

A cobertura da área foi de 61,9 km², que a altura de voo de aproximadamente 200 m (400 ft), resultou no registro de 3.856 imagens com resolução geométrica (GSD) de 9,91 cm/pixel (Tabela 16).

Tabela 16 - Localizações da câmera e sobreposição de imagens.

Parâmetro	Qtd.	Unidade
Número de imagens	3.856	unid.
Altura de voo	400	ft
Ground Sample Distance (GSD)	9,91	cm/pixel
Área de cobertura	61,9	km²
Camera stations	3.809	unid.
Tie points	4.583.722	unid.
Projeções	18.311.556	unid.
Erro de projeções	1,57	pixel

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

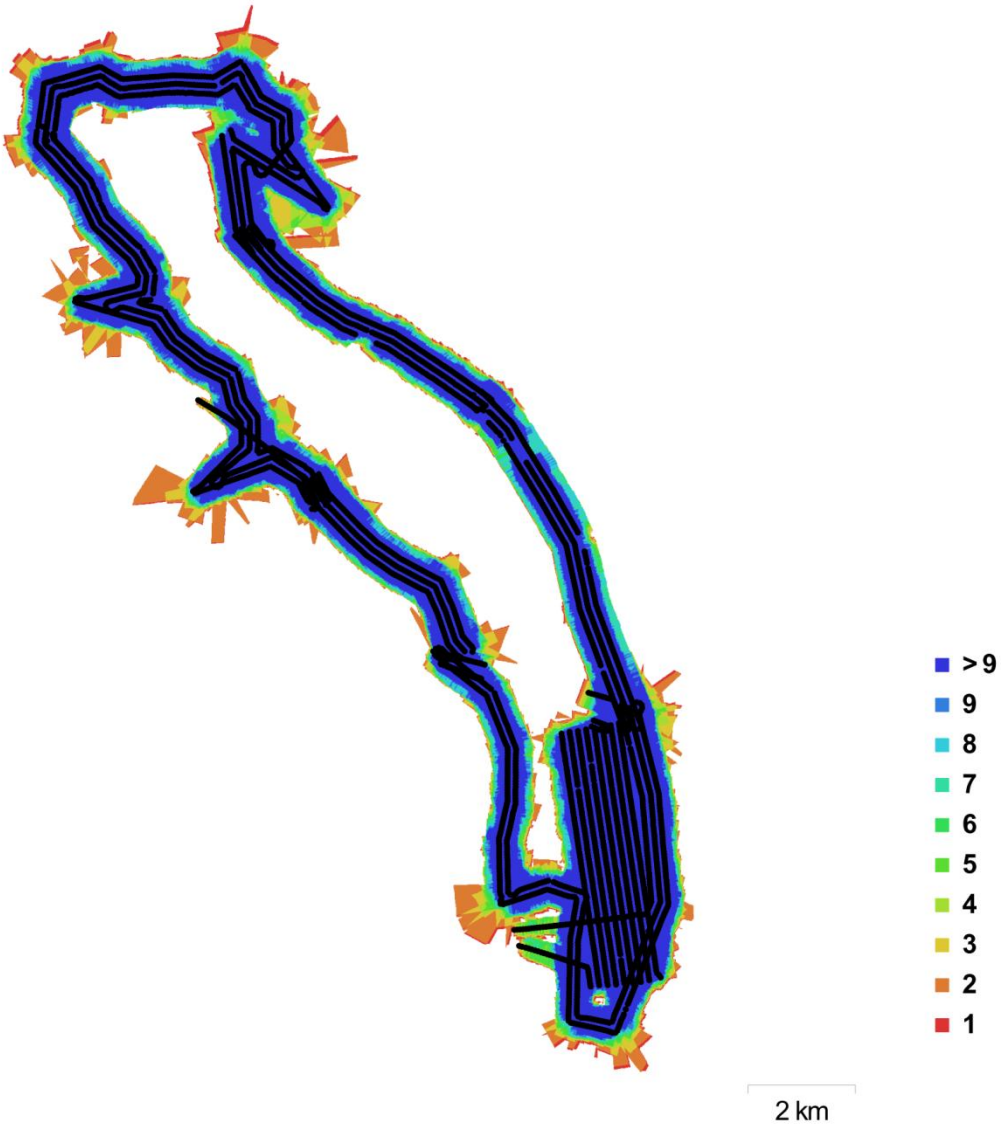


Figura 41 – Densidade de imagens conforme padrão de grade regular com 80% sobreposição frontal e lateral.

5.5.1.5.1.1 Calibração da câmera

Dentre os quatro tipos principais de câmera fotográfica (câmera de quadro ou *frame*, câmera olho de peixe, câmera esférica e câmera cilíndrica) a câmera adotada para o estudo foi a do tipo *frame*. Esta teve seus parâmetros calibrados. A calibração fotogramétrica é realizada para determinar os valores dos parâmetros de orientação interna das câmeras, incluindo os parâmetros de distorção da lente. Os parâmetros de calibração podem ser inseridos manualmente, caso tenham sido adquiridos como parte do procedimento de pré-calibração. Uma vez que esse não foi o caso, a parametrização foi realizada de forma automatizada, com ajuste do modelo de câmera adaptável.

5.5.1.5.1.1.1 Parâmetros de calibração da câmera

Os seguintes parâmetros de calibração podem ser determinados:

- F: Distância focal medida em pixels (em pixels);

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

- Cx, Cy: Coordenadas do ponto principal, ou seja, coordenadas de interceptação do eixo óptico da lente com o plano do sensor (em pixels);
- B1, B2: Coeficientes de afinidade e não ortogonalidade (inclinação) (em pixels);
- K1, K2, K3, K4: Coeficientes de distorção radial (adimensional);
- P1, P2: Coeficientes de distorção tangencial (adimensional).

Os dados de calibração inicial foram ajustados durante a etapa de processamento para alinhamento das fotos. Normalmente, os valores para Cx e Cy estão em torno de algumas dezenas de pixels (ou menos), pois os valores são medidos a partir do centro da imagem. E os valores para B1 e B2 geralmente não são mais do que algumas unidades.

Os valores dos parâmetros foram revisados, considerando que se fossem muito grandes (centenas ou mais para Cx, Cy e dezenas ou mais para B1, B2), seria razoável realinhar o conjunto de dados com parâmetros fixos. A ocorrência de os valores na casa das centenas ou mesmo milhares é considerado como indicativo de que as estimativas dos parâmetros de calibração provavelmente estivessem incorretas. Às vezes, pode estar relacionado às especificidades da missão de voo, por exemplo, se a câmera não for girada em 180 graus nas linhas de voo vizinhas.

5.5.1.5.1.1.2 Gráfico de distorção

O gráfico de distorção representa os valores de distorção e direção de acordo com os valores do coeficiente de calibração ajustado no modo de vetores discretos para um ponto central na célula de imagem correspondente. O valor dos coeficientes são calculados pela fórmula para cada ponto da imagem (XY) nas coordenadas da imagem.

- Total: exibe o valor total calculado de todos os parâmetros de calibração da câmera.
- Radial: exibe o vetor total para os coeficientes K1, K2, K3 e K4.
- Descentralização: exibe o vetor total para os coeficientes B1, B2 e P1, P2.
- Correções: os parâmetros serão exibidos nesta guia se durante o processo de otimização você ativou as correções adicionais Ajustar, caso contrário a guia Correções ficará em branco. Recomenda-se habilitar o recurso Ajustar correções adicionais (veja a caixa de diálogo abaixo) para os casos em que as distorções da câmera são mal descritas pelo modelo padrão (o modelo de distorção de *Brown*).

Os resíduos para o gráfico de Distorções apresenta permite avaliar a adequação da descrição da câmera pelo modelo matemático aplicado. A média dos resíduos é calculada por célula de uma imagem e, em seguida, por todas as imagens em um grupo de câmeras. A referência de escala sob o gráfico indica a escala das distorções/resíduos.

Gráficos e diagramas de resíduos para distorções têm significados diferentes. A imagem do gráfico de distorção representa os valores de distorção e direção de acordo com os valores de coeficiente de calibração ajustados, enquanto o gráfico de resíduos representa os erros de reprojeção médios para os pontos de amarração detectados nas imagens de origem (média em todas as imagens do grupo de

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

calibração e dentro de certas "células" nas imagens). Apenas o gráfico de distorções foi apresentado nesse estudo (Figura 42).

Tabela 17 – Especificações do sensor adotado no estudo.

Parâmetro	Descrição	Unidade
Modelo da câmera	ILCE-6000 (16 mm)	mm
Resolução	6000 x 4000	pixel
Focal	16 mm	mm
Dimensão do pixel	4 x 4 um	um
Precalibração	não	-

Tabela 18 – Parametrização do sensor para três diferentes conjuntos de imagens.

Parâmetro	Calibração		
	1	2	3
Tipo	Frame	Frame	Frame
Cx	16.9629	20.5086	28.5742
Cy	-36.4484	-27.4835	-27.9969
K1	-0.0506968	-0.0509917	-0.0539274
K2	0.023524	0.0240582	0.0343779
K3	0.0639669	0.055559	0.0455132
K4	-0.0636444	-0.0534802	-0.0535493
F	3992.27	4014.85	4004.68
B1	0.678279	-0.164885	0.526586
B2	-1.3086	-1.56196	-2.56857
P1	0.00288927	0.00282455	0.00320712
P2	-0.00267008	-0.00205832	-0.00236735
P3	0	0	0
P4	0	0	0

Tabela 19 –Erro médio de localização da câmera.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
39.6673	77.5102	5.08153	87.0708	87.219

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

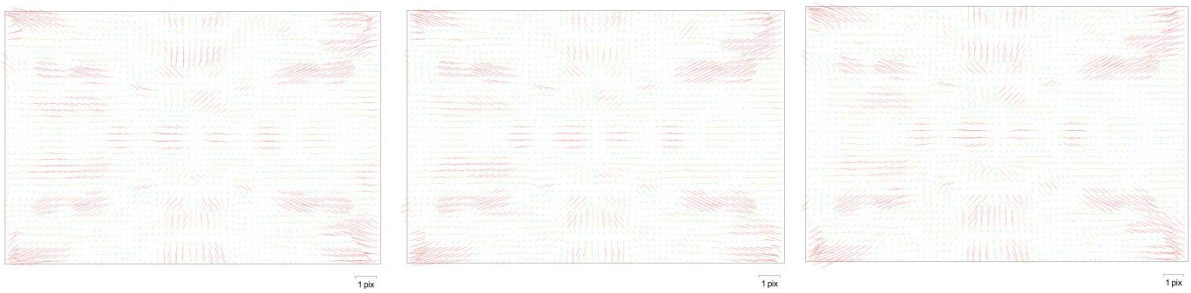


Figura 42 – Gráfico de distorção total estimado para a câmera selecionada, para três conjuntos de imagens.

A figura 43 ilustra distribuição espacial dos resíduos em três dimensões em relação ao centro da imagem. Os maiores erros ocorreram na extremidade sul devido a não exclusão das imagens obtidas durante as orientações das linhas de voo.

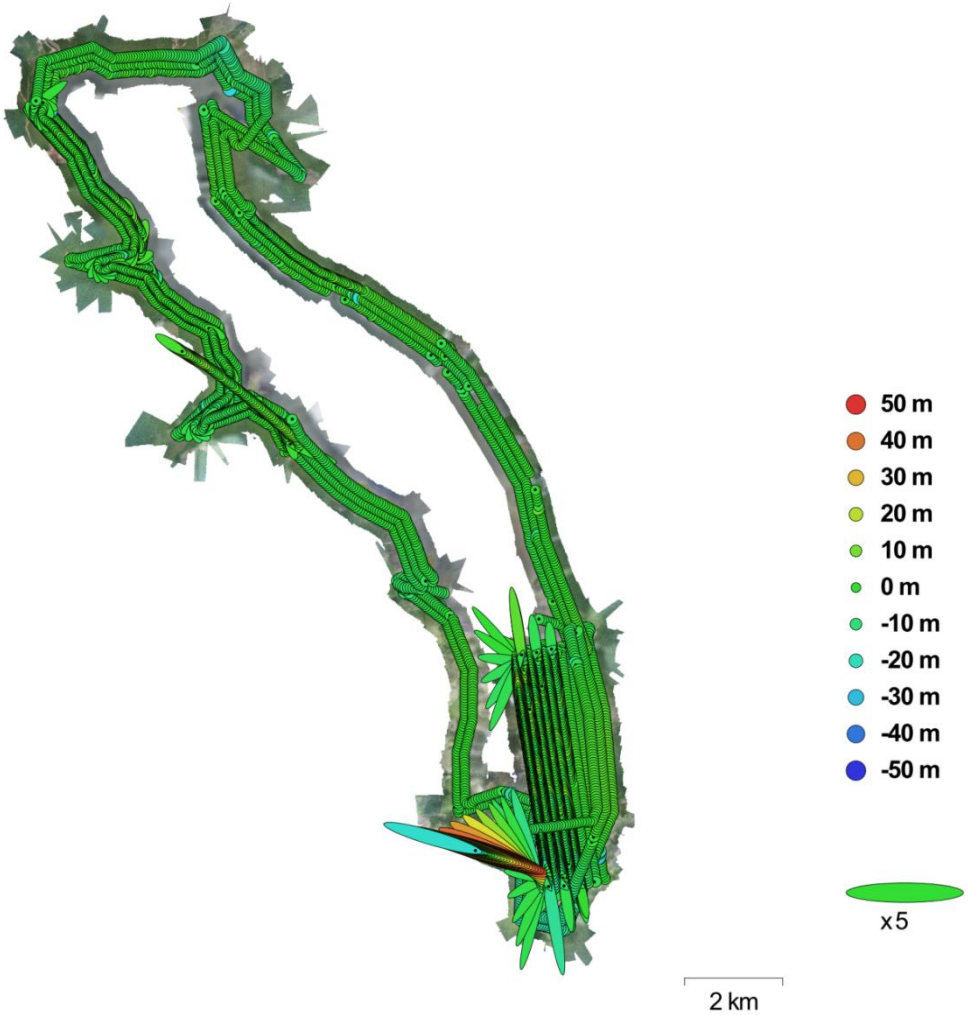


Figura 43 – Localização das câmeras e estimativas de erros. O erro em Z é representado pela cor da elipse. Erros em X, Y são representados por forma de elipse. As localizações estimadas da câmera são marcadas com um ponto preto.

5.5.1.5.2 Controle de qualidade posicional em dados espaciais oriundos de aerolevantamento fotogramétrico

Apesar do RPA ser equipado com receptores GNSS, eles não são capazes de

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

realizarem um voo em trajetória perfeitamente retilínea, e até mesmo, manter a altitude de voo constante. Essa instabilidade pode ser causada pela velocidade do vento, o que pode provocar problemas de escala e nos recobrimentos longitudinal e lateral (Júnior et al., 2014), sendo assim, o produto final pode ter distorções na geometria das imagens, podendo prejudicar a qualidade do georreferenciamento dos objetos presentes na imagem. Para tanto, faz-se necessário uma série de procedimentos para o registro das imagens de forma que as mesmas se adequem a um padrão de exatidão cartográfica que corresponda a demanda de aplicação, para isso uma série de etapas de consistência e validação das imagens será realizada de acordo com o fluxograma da figura 44.

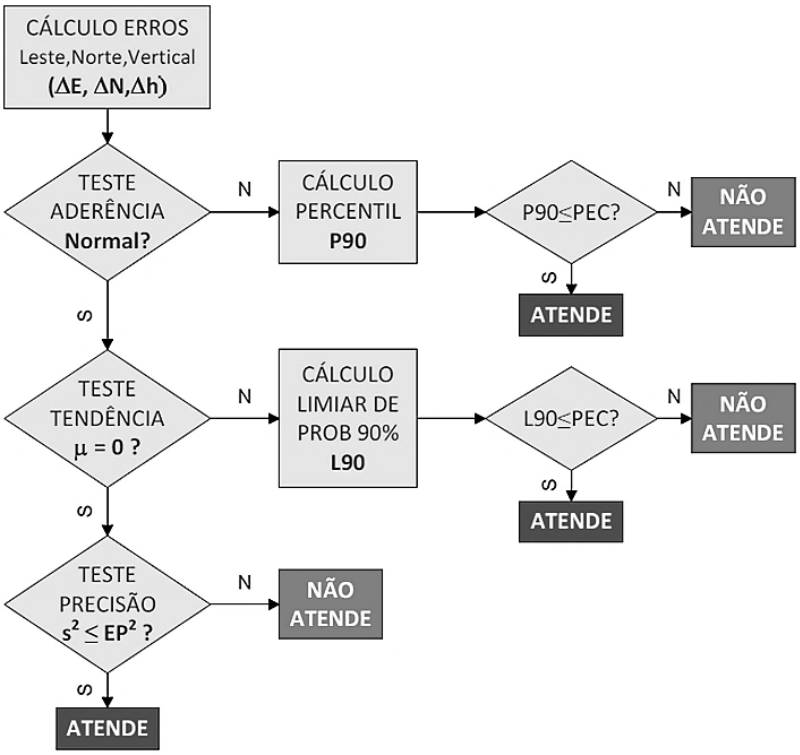


Figura 44 – Fluxograma metodológico para validação das imagens fotogramétricas

5.5.1.5.2.1 Registro das Imagens

O aerolevantamento foi realizado com câmera não métrica, portanto, as imagens foram submetidas à restituição fotogramétrica, amparada por pontos de apoio. Dessa forma, a precisão posicional deveria obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), cujos critérios estão estabelecidos no Decreto-lei nº 89.817/1984, em seu artigo 80, onde tem-se classificação das cartas quanto à sua exatidão.

O PEC é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade que define a exatidão de trabalhos cartográficos, sendo essa probabilidade correspondente a 1,6449 vezes o Erro-Padrão (equação 6).

$$PEC = 1{,}6449.EP \qquad (6)$$

Onde:

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

PEC: corresponde ao Padrão de Exatidão Cartográfica;
EP: corresponde ao Erro Padrão, podendo ser equivalente às expressões do Desvio Padrão e Erro Médio Quadrático.

A avaliação do ortomosaico (Figura 41) foi realizada por meio da aplicação do PEC, utilizando o método proposto por Galo e Camargo (1994) de testes de hipóteses, baseado na análise de tendências e precisão. Sendo este um dos métodos mais completos dentre os existentes na literatura, pois além de avaliar o PEC, avalia também se no produto cartográfico existe alguma tendência nas componentes das coordenadas, indicando a existência de erros sistemáticos.

A precisão do ortomosaico foi avaliada pelas discrepâncias calculadas entre as coordenadas planimétricas dos pontos de verificação com as coordenadas dos mesmos pontos lidas no ortomosaico. Nesse trabalho as coordenadas planimétricas obtidas no levantamento com GNSS-RTK foram consideradas como verdadeiras, isto é, isentas de erro. Para análise dos resultados foi utilizado como parâmetro, uma escala de referência 1/10.000, com um nível de confiança de 95% (a = 0,05).

No artigo 9º decreto-lei nº 89.817/1984 estabelece que as cartas sejam classificadas, segundo sua exatidão. Para alguns produtos cartográficos digitais foi determinada a PEC-PCD, com novos valores baseados nos trabalhos de Merchant (1982), ASPRS (1989) e Ariza (2002) conforme Tabelas 20 a 22.

Para o presente estudo prevê-se a obtenção dos produtos cartográficos obedecendo ao rigor da classe B da PEC-PCD (classe “A” da PEC).

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

Tabela 20 – Padrão de exatidão cartográfica da planimetria dos produtos cartográficos digitais

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

Fonte: CONCAR-EB (2011).

Tabela 21 – Padrão de exatidão cartográfica altimétrica dos pontos cotados e do MDT, MDE e MDS para a produção de produtos cartográficos digitais

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

Fonte: CONCAR-EB (2011).

Tabela 22 – Padrão de Exatidão Cartográfica da Altimetria (curvas de nível) dos Produtos Cartográficos Digitais

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

Fonte: CONCAR-EB (2011).

[1] Valores determinados, ou adaptados, com base nos valores do PEC Planimétrico previstos no Decreto 89.817, de 20 de junho de 1984.

[2] Produtos Cartográficos Digitais, baseado nos valores utilizados pelo "Ordinance Survey" e "National Joint Utilities Group" do Reino Unido, extraídos de ARIZA (2002, pág. 87, no qual Exatidão Cartográfica = 0,28 mm na escala do produto cartográfico e EP = 0,17 mm na escala do produto cartográfico).

[3] Valor calculado levando-se em consideração os erros existentes nos processos de medição de pontos apoio e de fototriangulação.

[4] Valores do PEC-PCD iguais a 1 equidistância e EP de 3/5 da equidistância do produto cartográfico.

5.5.1.5.2.2 Análise de tendência

Baseada na distribuição *t de Student*, a análise de tendência, consiste no teste de detecção de tendências com nível de significância de 90%, indicando a existência de erros sistemáticos. Essa análise foi realizada com base nas discrepâncias entre as coordenadas observadas e as coordenadas de referência (Equação 7), de onde obtêm-se as estatísticas como média (Equação 8) e desvio padrão (Equação 9),

sendo *n* o número de elementos da amostra.

$$\Delta X = \left(X_0 - X_r\right) \text{ e } \Delta Y = \left(Y_0 - Y_r\right) \tag{7}$$

$$\overline{\Delta X} = \frac{1}{n}\sum_{i-1}^{n}{}_{i=1}\Delta X \text{ e } \overline{\Delta Y} = \frac{1}{n}\sum_{i-1}^{n}{}_{i=1}\Delta Y \tag{8}$$

$$S_{\Delta X} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i-1}^{n}{}_{i=1}\left(\Delta X - \overline{\Delta X}\right)^2} \text{ e } S_{\Delta Y} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i-1}^{n}{}_{i=1}\left(\Delta Y - \overline{\Delta Y}\right)^2} \tag{9}$$

Sendo avaliadas para o teste de tendência as hipóteses: H_0: Se $\overline{\Delta X}$ = 0, então X não é tendencioso, contra, H_1: Se $\overline{\Delta X}$ ≠ 0, então X é tendencioso; e H_0: $\overline{\Delta Y}$ = 0, então Y não é tendencioso, contra, H_1: Se $\overline{\Delta Y}$ ≠ 0, então Y é tendencioso.

A partir do número de pontos de referência utilizados na análise, obtém-se o valor limite tabelado $t_{n-1,\propto/2}$. Se o valor do teste *t de Student* calculado (Equação 10) for inferior ao tabelado, atendendo a Equação 9 para as componentes X e Y, pode-se afirmar que o ortomosaico estará livre de erros sistemáticos.

$$t_X = \frac{\overline{\Delta X}}{S_{\Delta X}}\sqrt{n} \text{ e } t_Y = \frac{\overline{\Delta Y}}{S_{\Delta Y}}\sqrt{n} \tag{10}$$

$$\left|t_{calc}\right| < t_{n-a,\alpha/2}$$

5.5.1.5.2.3Análise de precisão

A análise de precisão foi realizada utilizando o teste Qui-quadrado, com nível de significância de 90%, obedecendo aos valores da PEC-PCD.

Para realizar o teste Qui-quadrado inicialmente calculou-se o erro padrão esperado (σ) de cada componente, conforme a Equação 11.

$$\sigma_Y = \sigma_X = \frac{EP}{\sqrt{2}} \tag{11}$$

Posteriormente aplicou-se o teste de hipótese, comparando-se o desvio-padrão das discrepâncias com o EP esperado para a classe do PEC a qual se deseja testar, H_0: $S_{\Delta X^2} = \sigma_{X^2}$, contra, H_1: $S_{\Delta X^2} > \sigma_{X^2}$; e H_0: $S_{\Delta Y^2} = \sigma_{Y^2}$, contra, H_1: $S_{\Delta Y^2} > \sigma_{Y^2}$.

Para atender a precisão de uma determinada classe (A, B ou C) o valor do teste Quiquadrado calculado (χ_X^2 e χ_Y^2), conforme a Equação 12 deve ser inferior ao

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

teste Quiquadrado tabelado $\chi^2_{X-1,\alpha}$.

$$\chi^2_X = (n-1)\frac{S^2_{\Delta X}}{\sigma^2_X} \text{ e } Y^2_X = (n-1)\frac{S^2_{\Delta Y}}{\sigma^2_Y} \quad (12)$$

Onde *n* é o tamanho da amostra, s o desvio padrão das discrepâncias e σ^2_0 é o EP esperado para a classe de PEC, a qual se deseja testar pelo Decreto-Lei nº. 89.817/84.

$$\chi^2_X < \chi^2_{(n-1,\alpha)} \text{ e } \chi^2_Y < \chi^2_{(n-1,\alpha)}$$

5.5.1.5.2.4 Relatório do processamento para avaliação do padrão de acurácia posicional

A precisão do ortomosaico (Figura 45) foi avaliada pelas discrepâncias calculadas entre as coordenadas planimétricas dos pontos de verificação com as coordenadas dos mesmos pontos observados no ortomosaico. Nesse trabalho as coordenadas planimétricas obtidas no levantamento com GNSS-RTK foram consideradas como verdadeiras, isto é, isentas de erro.

No artigo 9º decreto-lei nº 89.817/1984 estabelece que as cartas sejam classificadas, segundo sua exatidão. Para alguns produtos cartográficos digitais foi determinada a PEC-PCD, com novos valores baseados nos trabalhos de Merchant (1982), ASPRS (1989) e Ariza (2002). Para o presente estudo previu-se a obtenção dos produtos cartográficos obedecendo ao rigor da classe A da PEC-PCD.

A escala média do aerolevantamento correspondeu a 1:8.571, sendo a RMSE igual a 0,8255 cm para os pontos de checagem. Mediante o processamento de análise e validação dos dados constatou-se que o produto final é acurado para a escala de **1/10.000** com **PEC-PCD "Classe A"**, de acordo com o Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras, aliada às tolerâncias da ET-CQDG.

O produto foi submetido a análise de tendência e precisão em suas componentes posicionais, onde os resultados contataram que o mesmo é preciso e não tendencioso**.**

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

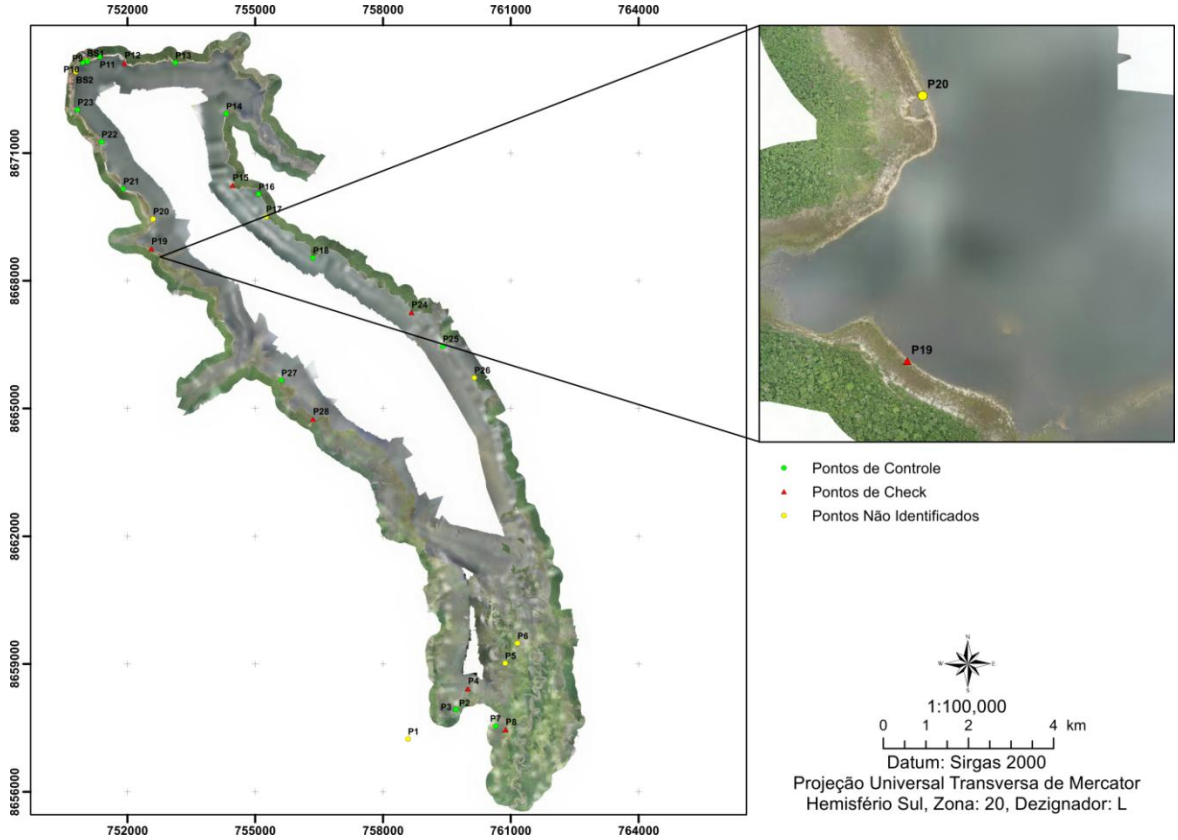


Figura 45 – Mosaico ortorretificado do aerolevantamento da área seca do barramento.

Foram utilizados sete ponto destinado a chegagem, com RMS de 0,8256 m, dentre estes não ocorreram *outiliers*.

A análise estatística do padrão de distribuição espacial, teste de normalidade e tendência, estatística descritiva, e análise de resíduos são sumarizadas nas tabelas 23 a 28.

Tabela 23 - Padrão de distribuição espacial dos pontos de check.

Ordem	R	$Z_{calc,95\%}$	Z_{tab}	Padrão de dispersão
1°	17,387	37,388	1,96	Disperso
2°	2,509	110,008	1,96	Disperso
3°	25,945	143,452	1,96	Disperso

Tabela 24 – Estatísticas dos testes de normalidade e tendência dos pontos de check.

Teste	Jarque-Bera	Tendência
Estatística	B95%	t de Student
E	2,017	-0,2995
N	11,051	-0,7427
2D	1,119	-
tabelado	3,1	19,432
Resultado	Normal	Não Tendencioso

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

Tabela 25 – Análise estatística descritiva dos pontos de check.

Estatística	E	N	Posicional
N° Pontos	7	7	7
Média	-0.0507	-0.2066	0.574
Desv. Padrão	0.4479	0.736	0.6409
Variância	0.201	0.542	0.411
RMS	0.4178	0.712	0.8256
Máximo	0.338	0.453	1.649
Mínimo	-1.019	-1.614	0.0513
Curtose	3.223	2.116	1.511
Assimetria	-1.31	-0.867	0.636
Soma	1.204	3.25	2.465
nº outiliers	0	0	0

Tabela 26 – Erros referentes aos pontos de controle.

Rótulo	X erro (cm)	Y erro (cm)	Z erro (cm)	Total (cm)	Imagem (pixel)
P3	0.0637	0.0485	-0.1176	0.1423	0.3740
P7	1.8190	0.5609	1.2288	2.2657	0.5300
P9	-0.0258	2.8589	-0.7756	2.9623	0.4650
P10	-0.0434	-1.9086	0.1848	1.9181	0.4510
P11	-0.2227	-1.0996	0.4464	1.2075	0.2950
P13	-0.0079	-0.1167	0.0492	0.1269	0.1570
P14	-0.0510	-0.0687	0.0033	0.0856	0.3360
P16	-0.1683	-0.2834	-0.0088	0.3297	0.1890
P18	-0.1263	-0.0456	-0.0824	0.1575	0.2310
P21	0.2406	-0.0546	-0.1049	0.2681	0.5140
P22	-0.6245	0.0679	0.5061	0.8067	0.5690
P23	0.5034	-0.2212	-0.2253	0.5943	0.2730
P25	0.0056	-0.0106	0.0206	0.0239	0.3260
P27	-0.0633	-0.0076	-0.1820	0.1929	0.3410
Total	**0.5423**	**0.9820**	**0.4407**	**1.2052**	**0.3620**

Tabela 27 – Erros referentes aos pontos de check.

Rótulo	X erro (cm)	Y erro (cm)	Z erro (cm)	Total (cm)	Imagem (pixel)
P4	0.3382	-1.6139	2.6239	3.0990	0.3160
P8	-1.0188	-0.7629	0.1169	1.2781	0.4970
P12	0.1275	0.4534	0.0664	0.4756	0.2800
P15	0.2130	0.3907	0.2331	0.5023	0.3030
P19	-0.0761	0.0033	0.0071	0.0765	0.3610

P24	0.0329	0.0407	0.0326	0.0616	0.1670
P28	0.0276	0.0433	0.1551	0.1634	0.5350
Total	**0.4177**	**0.7120**	**0.9987**	**1.2957**	**0.3680**

Tabela 28 – Raiz do Erro médio Quadrático para pontos de controle (PC) e Pontos de check (PCh)

Tipo	Total	X erro (cm)	Y erro (cm)	Z erro (cm)	XY erro (cm)	Total (cm)	Imagem (pix)
PC	14	0.5423	0.9820	0.4407	1.1218	1.2052	0.3620
PCh	7	0.4177	0.7120	0.9987	0.8255	1.2957	0.3680

A tabela 29 sumariza os parâmetros de processamento para geração do orthomosaico.

Tabela 29 - Parâmetros de processamento para geração do orthomosaico.

Geral	
Câmaras	3856
Aligned cameras	3809
Marcadores	21
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTMzone 20S (EPSG::31980)
Nuvem de Pontos	
Pontos	4,583,722 of 7,852,301
RMS reprojection error	0.236031 (1.56601 pix)
Maxreprojection error	3.10173 (28.0083 pix)
Mean keypoint size	6.62751 pix
Sobreposição efetiva	4.28821
Dense Point Cloud	
Pontos	394,706,266
Parâmetros de reconstrução	
Qualidade	Média
Depth filtering	Moderate
Modelo	
Faces	25,615,559
Vértices	12,860,659
Parâmetros de reconstrução	
Surface type	Mapa de alturas / Terreno
Source data	Dense
Interpolation	Enabled

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

Qualidade	Média
Depth filtering	Moderate
Número de faces	26,313,751
Tempo de processamento	26 minutes 0 seconds
DEM	
Tamanho	56,438 x73,193
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTMzone 20S (EPSG::31980)
Parâmetros de reconstrução	
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Tempo de processamento	25 minutes 2 seconds
Orthomosaic	
Tamanho	129,884 x200,754
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTMzone 20S (EPSG::31980)
Channels	3, uint8
Modo de combinação	Mosaico
Parâmetros de reconstrução	
Surface	DEM
Enable color correction	Não
Tempo de processamento	1 hours 10 minutes

5.6 LEVANTAMENTO DO CONTORNO DO RESERVATÓRIO

O levantamento do contorno do reservatório (Figura 46) foi executado por meio de fotointerpretação tendo como dado primário as informações obtidas de imagens oriundas de aerolevantamento de RPA.

O mapa de traço ou ortofoto final decorrente está de acordo com as preconizações técnicas, ou seja, apresentando escala igual ou melhor que 1:10.000, e adoção do Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000 (época 2000,4) e Imbituba como os referenciais planimétricos e altimétricos, respectivamente.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

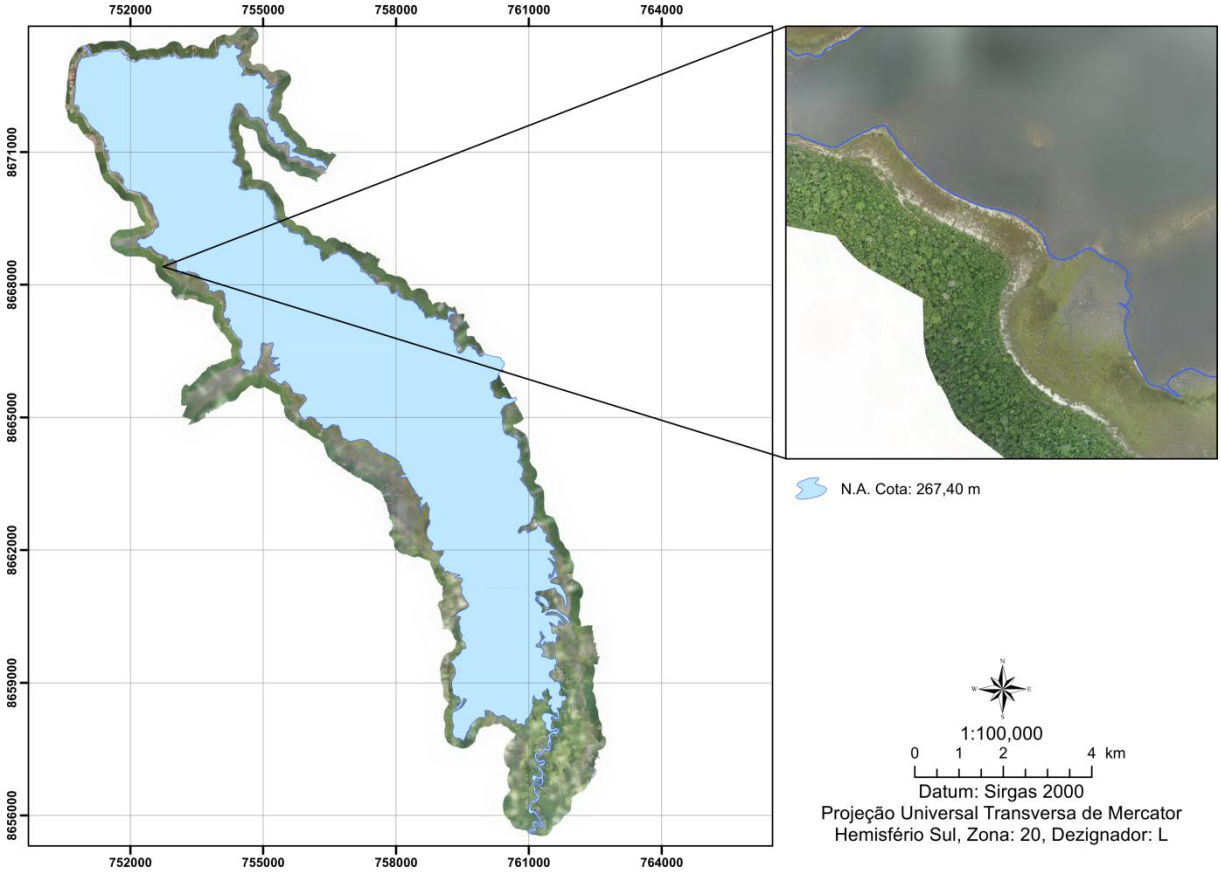


Figura 46 – Delineamento do contorno do reservatório.

5.7 MODELO DIGITAL DO RESERVATÓRIO

A continuidade ou autocorrelação espacial é uma característica intrínseca ao dado espacial, e é caracterizada pela similaridade entre valores de uma variável em uma vizinhança. É uma informação importante a ser considerada tanto na inferência de valores em posições não amostradas quanto na determinação de padrões espaciais nos dados.

5.7.1 Definição do método de interpolação dos dados planialtimétrico e batimétricos

A continuidade ou autocorrelação espacial é uma característica intrínseca ao dado espacial, e é caracterizada pela similaridade entre valores de uma variável em uma vizinhança. É uma informação importante a ser considerada tanto na inferência de valores em posições não amostradas quanto na determinação de padrões espaciais nos dados.

5.7.1.1 Definição do método de interpolação dos dados planialtimétrico e batimétricos

Uma importante parte da construção de um bom modelo espacial é a compreensão do fenômeno, como os dados da amostra foram obtidos, o que eles representam, e

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

o que se espera que o modelo forneça. Para tanto, a construção do modelo mais adequado será orientada por um fluxo de trabalho geoestatístico apoiado por árvores de classificação para orientação do método apropriado.

Existem muitos métodos de interpolação. Alguns são bastante flexíveis e podem acomodar diferentes aspectos dos dados da amostra. Outros são mais restritivos e exigem que os dados atendam a condições específicas. Os métodos de Krigagem, por exemplo, são bastante flexíveis, mas dentro da família de kriging existem vários graus de condições que devem ser atendidas para que a saída seja válida.

Após análise exploratória dos dados amostrais, árvores de classificação foram adotadas para definição do método apropriado de modelagem espacial dos dados.

5.7.1.1.1 Árvore de decisão para seleção do método de interpolação

As árvores de classificação a seguir usarão as abreviaturas da tabela 30 para os métodos de interpolação.

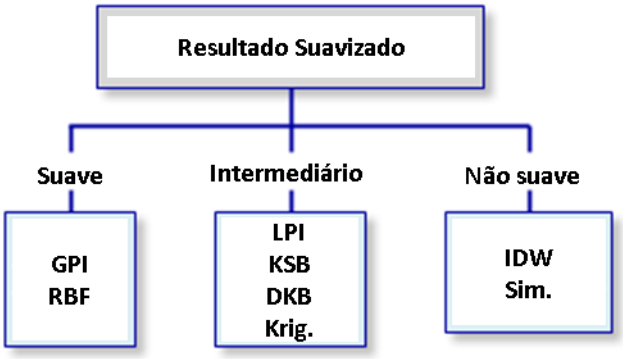
Tabela 30 – Abreviatura dos métodos de interpolação adotados nas árvores de classificação

Sigla	Método de interpolação
GPI	Interpolação Polinomial Global
LPI	Interpolação Polinomial Local
IDW	Distância Inversa Ponderada
RBF	Funções de base radial
KSB	Suavização de Kernel com Barreiras
DKB	Kernel de difusão com barreiras
Krig.	krigagem ordinária, simples, universal, indicadora, probabilística, disjuntiva e empírica Bayesiana
Sim.	Simulação geoestatística gaussiana, baseada em um modelo simples de krigagem

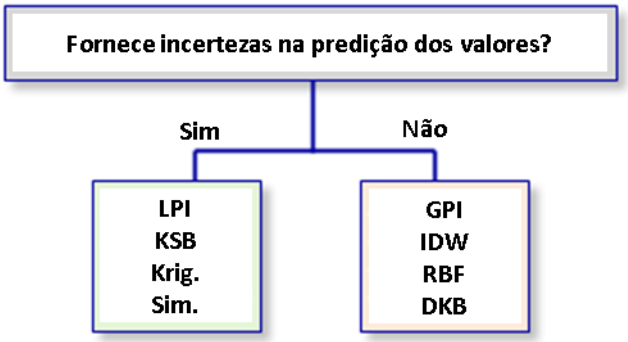
Alguns interpoladores são exatos (em cada local de dados de entrada, a superfície terá exatamente o mesmo valor que o valor dos dados de entrada), enquanto outros não são. A replicação exata dos dados de entrada pode ser importante em algumas situações.

Alguns métodos produzem superfícies mais suaves que outras. Como exemplo, as funções de base radial são suaves por construção. O uso de uma vizinhança de pesquisa suave produzirá superfícies mais lisas do que uma vizinhança de pesquisa padrão.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br



Para algumas decisões, é importante considerar não apenas o valor previsto em um local, mas também a incerteza (variabilidade) associada a essa previsão. Alguns métodos fornecem medidas de incerteza, enquanto outros não.



Além dos métodos citados, a interpolação dos dados amostrais foi realizada, também, com uso do algoritmo ANUDEM, programa desenvolvido por Hutchinson (1988, 2011). Este algoritmo trata-se de um método especificamente designado para criação de Modelos Digital de Elevação que permite a complementação de informações para melhor descrição do terreno, sendo essa alternativa indisponível para quaisquer outros métodos.

Uma vez que dois ou mais critérios de interpolação puderam ser aplicados, os mesmos foram submetidos à análise comparativa, tendo como referência os dados observados oriundos da malha de amostras altimétricas (da área inundada e seca). Tal como trabalhos realizados por Diaconu et al., (2019) e Merwade, (2009), as exatidões dos modelos 3D, foram avaliadas para determinação do método mais adequado de interpolação para os dados em questão.

5.7.1.2 Seleção de índices diagnósticos de desempenho

A similaridade entre o padrão dos dados medidos e estimados foi quantificada com base nos índices estatísticos de análise de desempenho, recomendados por Moriasi et al. (2007), ou seja: percentual de tendência PBIAS, coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (NSE) e o RSR que associa o benefício de um índice estatístico de erro (RMSE do inglês, *Root Mean Square Error*) e inclui o desvio padrão como fator de escalonamento, além dos respectivos intervalos de classificação de desempenho (Tabela 31).

O percentual de tendência PBIAS (Equação 8) possui clara capacidade de indicar o mau desempenho do modelo, com tendências expressas em porcentagem. Valores nulos de PBIAS indicam ausência de tendência nos dados, valores positivos indicam

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

viés de superestimação, e negativos, viés de subestimação (GUPTA; SOROOSHIAN, 1998).

$$PBIAS = \frac{\sum_{i-1}^{n}\left(Y_i^{obs} - Y_i^{sim}\right)}{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i^{obs}\right)} 100 \tag{3.8}$$

em que:

n = número de observações;

Y_i^{obs} = valores observados;

Y_i^{sim} = valores simulados.

Historicamente, o RMSE (Equação 9) tem sido popular, em grande parte devido à sua relevância teórica na modelagem estatística (HYNDMAN; KOEHLER, 2006), o que permite ampla comparação bibliográfica, e por esse motivo, optou-se pelo seu uso na análise dos dados.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i^{obs} - Y_i^{sim}\right)^2}{n}} \tag{3.9}$$

O RMSE encontra-se na mesma unidade dos dados, isso se torna um fator limitante para comparações de variáveis em unidade de medida diferentes, ou de mesma unidade mas com diferentes grandezas. O Erro padrão médio normalizado (RSR) (Equação 10) associa o benefício de um índice estatístico de erro (RMSE) e inclui um fator de escalonamento (σ). O RSR pode variar a partir de 0, onde o valor nulo indica ausência de variação residual, até um valor positivo, indicativo do oposto. Embora seja amplamente aceito que o modelo apresenta melhor desempenho mediante baixos valores de RMSE, o RSR permite qualificar o que realmente é considerado um valor baixo desse índice, com base no desvio padrão das observações (MORIASI et al., 2007).

$$RSR = \frac{RMSE}{\sigma_{obs}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i^{obs} - Y_i^{sim}\right)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i^{obs} - Y_i^{média}\right)^2}} \tag{3.10}$$

em que:

RMSE = raiz do quadrado médio do erro;

σ_{obs} = desvio padrão dos dados observados;

$Y^{média}$ = média dos valores observados.

O coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (NSE) (Equação 11) permite determinar a magnitude relativa da variância residual sob efeito de uma estatística normalizada. Este coeficiente varia de -∞ a 1, sendo a unidade, indicativa de perfeito

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

ajuste entre os dados observados e simulados. Admite-se que valores entre 0 e 1 sejam indicativos de níveis aceitáveis de desempenho, e que valores negativos sejam indicativos de que o valor médio observado é melhor preditivo do que os valores simulados, sendo, portanto, um desempenho inaceitável do modelo (NASH; SUTCLIFFE, 1970).

$$\mathrm{NSE} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i^{obs} - Y_i^{sim}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i^{obs} - Y_i^{média}\right)^2} = \frac{1}{n} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i^{obs} - Y_i^{sim}\right)^2}{\sigma_{obs}^2} = 1 - \frac{MSE}{\sigma_{obs}^2} \tag{3.11}$$

Tabela 31 - Classificações gerais de desempenho baseada em índices diagnósticos para dados mensais.

Desempenho	RSR	NSE	PBIAS (%)
Muito Bom	0,00 ≤ RSR ≤ 0,50	0,75 < NSE ≤ 1,00	PBIAS < ±10
Bom	0,50 < RSR ≤ 0,60	0,65 < NSE ≤ 0,75	±10 ≤ PBIAS < ±15
Satisfatório	0,60 < RSR ≤ 0,70	0,50 < NSE ≤ 0,65	±15 ≤ PBIAS < ±25
Insatisfatório	RSR > 0,70	NSE ≤ 0,50	PBIAS ≥ ±25

Fonte: Moriasi et al. (2007).

Além daqueles citados por Moriasi et al. (2007), optou-se por apresentar os valores, também por estatísticas convencionalmente adotadas na literatura, visando, possibilitar ampla comparação com demais estudos.

O NSE tende a ser mais sensível às valores extremos, o que pode resultar em mau ajuste nos períodos de recessão. Para compensar essa limitação, adotou-se coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe modificado (NSE') (Equação 12), que é menos sensível aos altos valores extremos que o NSE, devido às diferenças entre módulo, e também o coeficiente de eficiente de Nash e Sutcliffe dos logaritmos dos dados (NSE_{log}) (Equação 13) que não apenas é menos sensível aos extremos, como também apresenta maior sensibilidade ao período de recessão.

$$NSE' = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|Y_i^{obs} - Y_i^{sim}\right|}{\sum_{i=1}^{n}\left|Y_i^{obs} - Y_i^{média}\right|} \tag{3.12}$$

$$NSE_{log} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\ln(Y_i^{obs}) - \ln(Y_i^{sim})\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(\ln(Y_i^{obs}) - \ln(Y_i^{média})\right)^2} \tag{3.13}$$

A inclinação (β_1) e intercepto (β_0) da reta, resultantes do ajuste de uma regressão linear entre os dados observados e simulados, são comumente utilizados para avaliação do desempenho de modelos, juntamente com o coeficiente de determinação (R^2). A inclinação indica a relação relativa entre os valores simulados e medidos. O intercepto indica retardo ou avanço entre as previsões do modelo e os dados medidos, ou desalinhamento no conjunto de dados. O valor unitário da inclinação e nulo do intercepto é indicativo de perfeito ajuste dos dados (WILLMOTT, 1981). A análise desses parâmetros é feita sob a suposição de que os valores

medidos e simulados estão relacionados linearmente, o que implica que toda a variação do erro está contida nos valores simulados e que os dados medidos estão livres de erros (WILLMOTT, 1981), o que dificilmente se observa na prática.

O R^2, assim como o coeficiente de correlação (r), oferece informação sobre o grau de colinearidade entre os dados observados e simulações, fornecendo um diagnóstico da capacidade do modelo em reproduzir a forma e a distribuição do hidrograma (GUPTA et al., 2009). O r, que varia de -1 a 1 é um índice do grau de relação linear entre os dados observados e os simulados, com r = 0, representando a ausência de relacionamento linear e r = 1 ou -1, um relacionamento linear positivo ou negativo perfeito. Por sua vez, o R^2, que varia de 0 a 1, representa a capacidade preditiva do modelo em explicar a variabilidade do fenômeno simulado, do qual valores mais altos são indicativos de menor variabilidade dos erros, e valores acima de 0,5 são tipicamente considerados aceitáveis (SANTHI et al., 2001; LIEW et al., 2003). Como o coeficiente de determinação é sensível aos máximos valores de medidos, os dados foram também, submetidos à transformação logarítmica (R^2_{log}), visando equilibrar o coeficiente, tornando-o mais sensível os valores mínimos (RODRIGUEZ; TOMASELLA, 2016).

A análise dos dados, com base nos coeficientes r e R^2, foi feita levando em conta que essas estatísticas são supersensíveis a *outliers* e insensíveis a diferenças aditivas e proporcionais, e que o R^2 deve estar associado a uma predição aceitável de β_1 e β_0 (LEGATES; MCCABE, 1999).

De forma geral, o desempenho das simulações (Tabela 32) apresentaram índices diagnósticos com ótimo desempenho segundo classificação de Moriasi et al. (2007). O método de melhor desempenho foi a KBE, já o de menor desempenho foi o LPI. O método adotando o ANUDEM apresentou desempenho intermediário. Uma vez que não houveram diferença significativas entre os métodos testados, entende-se que quaisquer um deles poderiam ser adotados. Frente ao critério de implementação e versatilidade quanto aos tipos de arquivos de entrada, adotou-se o modelo oriundo do método ANUDEM.

Tabela 32 - Índices diagnósticos de desempenho da etapa de calibração do MHD-INPE.

Método	*NSE*	*NSE'*	NSE_{log}	*PBIAS*	*RMSE*	*RSR*	R^2	R^2_{log}	β_0	β_1	*r*
ANUDEN	0,975	0,860	0,985	0,001	0,395	0,202	0,973	0,969	7,872	0,948	0,992
IDW	0,957	0,818	0,960	0,009	0,430	0,226	0,960	0,960	17,484	0,942	0,980
RBF	0,956	0,833	0,962	0,004	0,426	0,223	0,958	0,955	9,219	0,972	0,983
LPI	0,948	0,796	0,949	0,003	0,481	0,246	0,943	0,949	16,137	0,943	0,977
Kriging Simple	0,956	0,830	0,958	0,003	0,416	0,218	0,960	0,956	11,659	0,963	0,979
Kriging Ordinary	0,957	0,830	0,957	0,004	0,414	0,211	0,965	0,961	12,166	0,960	0,980
Kriging Disjunctive	0,963	0,824	0,967	0,003	0,414	0,213	0,961	0,962	11,643	0,960	0,981
EBK	0,959	0,832	0,963	0,004	0,400	0,211	0,964	0,966	10,389	0,965	0,984
Kernel Smoothing	0,965	0,825	0,956	0,004	0,425	0,215	0,960	0,960	11,960	0,962	0,985

5.7.1.3 Ajuste da variação de nível do reservatório

A altitude ortométrica da amostragem ecobatimétrica foi ajustada considerando o MOGL e o Gradiente Linear Médio de Variação do Nível (GLMVN) ao longo da extensão longitudinal do reservatório. O GLVN foi obtido considerando a Altitude Elpsoidal Média da Série (Tabela 13) visto que a amplitude de variação do nível no

período de medição, correspondeu ao mínimo e máximo de 0,17 m e 0,18 m, e desvios padrões mínimo e máximo de 0,0396 m e 0,0405 m, ambos respectivamente, para as réguas 1 a 3. Duas seções perpendiculares foram estabelecidas transversalmente à maior sessão longitudinal do reservatório, a partir das quais a espacialização dos dados se deu pela interpolação com o método *Global Polinomial Interpolation* (GPI) com ordem polinomial igual a um (Figura 47a). O GPI foi escolhido devido a ser um interpolador determinístico rápido e suave, com poucas decisões a serem tomadas em relação aos parâmetros do modelo, sendo melhor usado para superfícies que mudam lenta e gradualmente.

Uma vez obtido o GLMVN, a altitude ortométrica da superfície da lâmina d'água (Figura 47b) foi obtida por álgebra de mapas entre o GLMVN e MOGL; e a altitude ortométrica dos pontos amostrais batimétricos (Figura 48), por meio da subtração desta pela profundidade registrada pelo ecobatímetro.

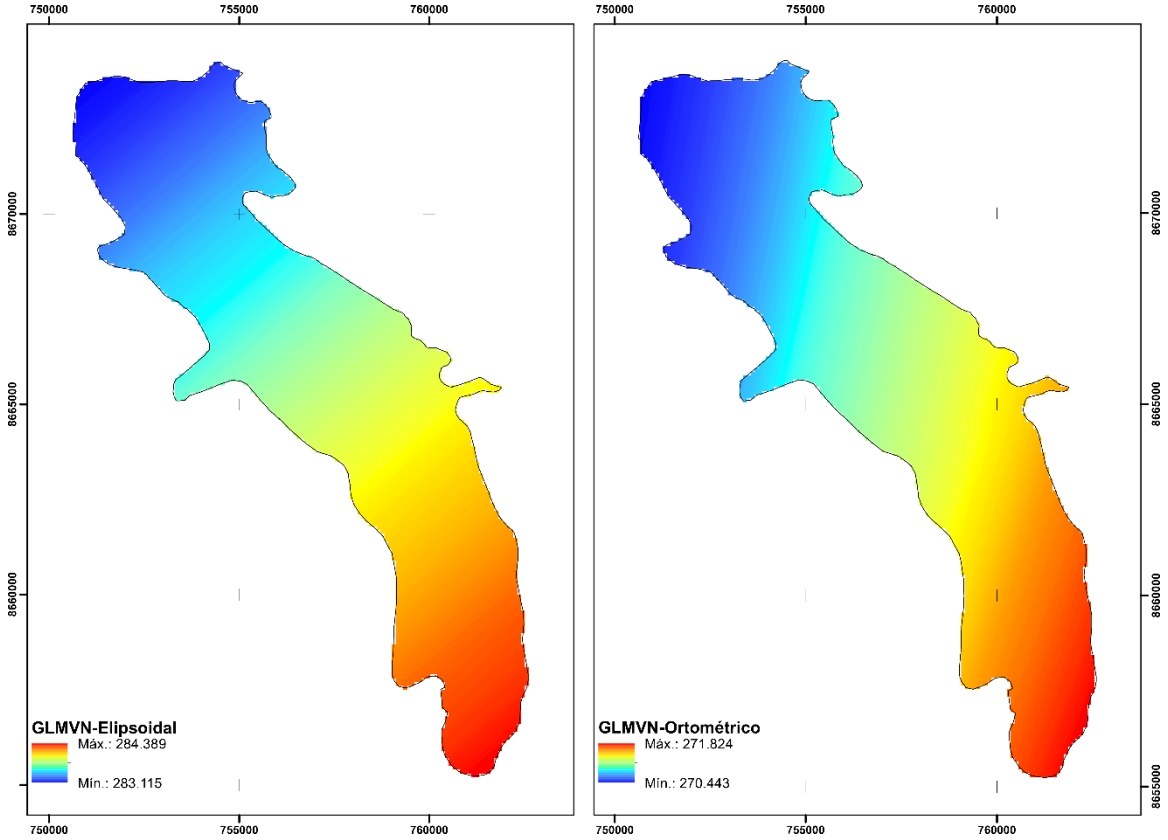


Figura 47 – (a) Gradiente Linear Médio de Variação do Nível (GLMVN) ao longo da extensão longitudinal do reservatório (a esquerda) em altitude elipsoidal. (b) GLMVN (a direita) em altitude ortométrica.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

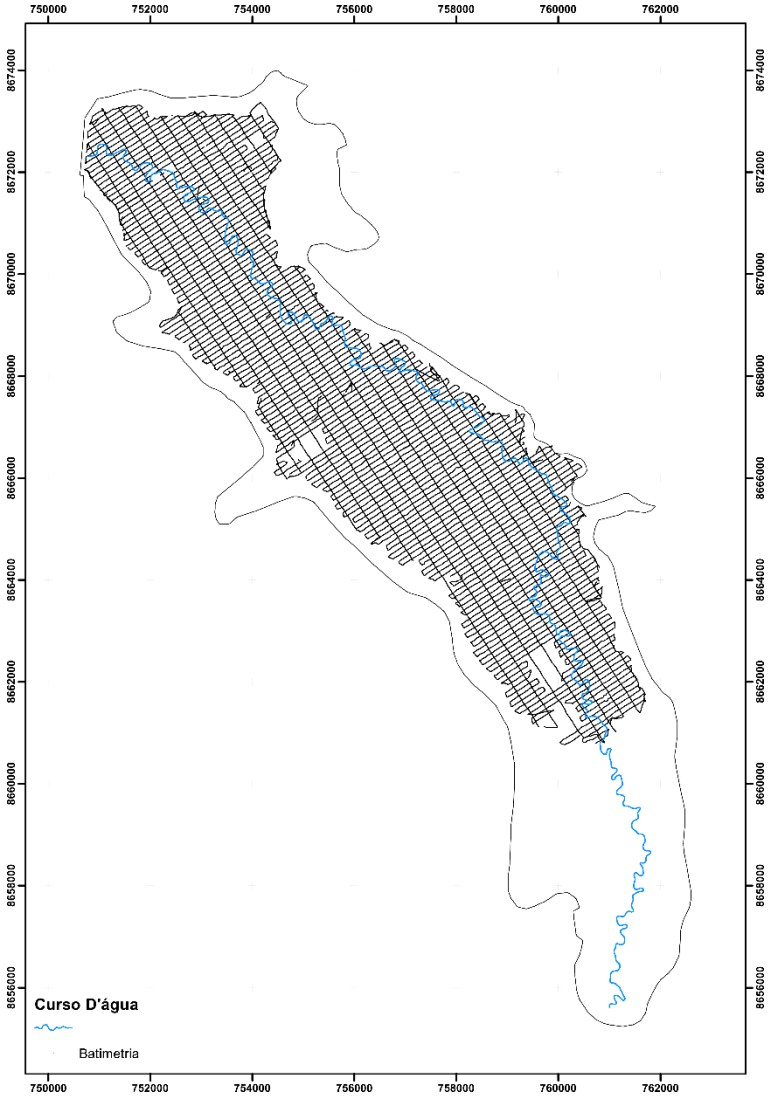


Figura 48 – Dados amostrais batimétricos.

5.7.1.4 Modelo digital de elevação

Com uso do algoritmo ANUDEM, foram utilizados os dados batimétricos e aerofotogramétricos consistidos, ambos unificados em feição de ponto, definindo-se como variáveis de entrada a altitude ortométrica, a drenagem do curso d'água principal do reservatório e o limite da área de interesse, representativa do fenômeno em estudo.

O grid de espaçamento foi definido para 5 m (Figura 48). Este valor foi obtido por meio de testes de forma, de modo que não houvessem variações significativas quanto ao volume de barramentos quando comparadas resoluções entre modelos espaciais mais refinados, tal como 2 m ou 1 m. O fator de erro discreto foi usado para ajustar a quantidade de suavização ao converter os dados de entrada em um dado matricial, sendo a faixa normal de ajuste de 0,25 a 4. Na parametrização do modelo adotou-se como fator de erro discreto o valor igual a 1.5.

A penalidade de rugosidade da curvatura do perfil é uma penalidade adaptativa local que pode ser usada para substituir parcialmente a curvatura total. Ela pode produzir bons resultados com dados de contorno de alta qualidade, mas pode levar à

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

instabilidade na convergência com dados de baixa qualidade. Definida como 0,0 para nenhuma curvatura do perfil (o padrão), 0,5 para curvatura do perfil moderada, ou defina como 0,8 para curvatura do perfil máxima. Valores maiores que 0,8 não são recomendados e não devem ser usados. Relativo a esse parâmetro, adotou-se o valor de 0,8, com melhores resultados para o modelo.

O erro padrão vertical é definido como um pequeno valor positivo se os dados tiverem erros verticais aleatórios significativos (não sistemáticos) com variância uniforme. Nesse caso, é definido o erro padrão vertical como o desvio padrão desses erros. Para a maioria dos conjuntos de dados de elevação, o erro vertical deve ser definido como zero, mas para garantir a estabilidade da convergência no processo de rasterização dos dados de ponto com dados da rede de drenagem, foi definido um pequeno valor positivo correspondem a 1,2 m. Para suavização da superfície e remoção das impressões promovidas durante o processo de interpolação, comumente adota-se o *Gaussian Filter*, calibrando-se os parâmetros de desvio padrão e raio de pesquisa desse filtro de imagens para garantir uma representatividade mais realística do fenômeno em detrimento das varrições locais. Entretanto, visando atender o menor erro entre os dados observados e estimados, optou-se por não realizar este procedimento.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

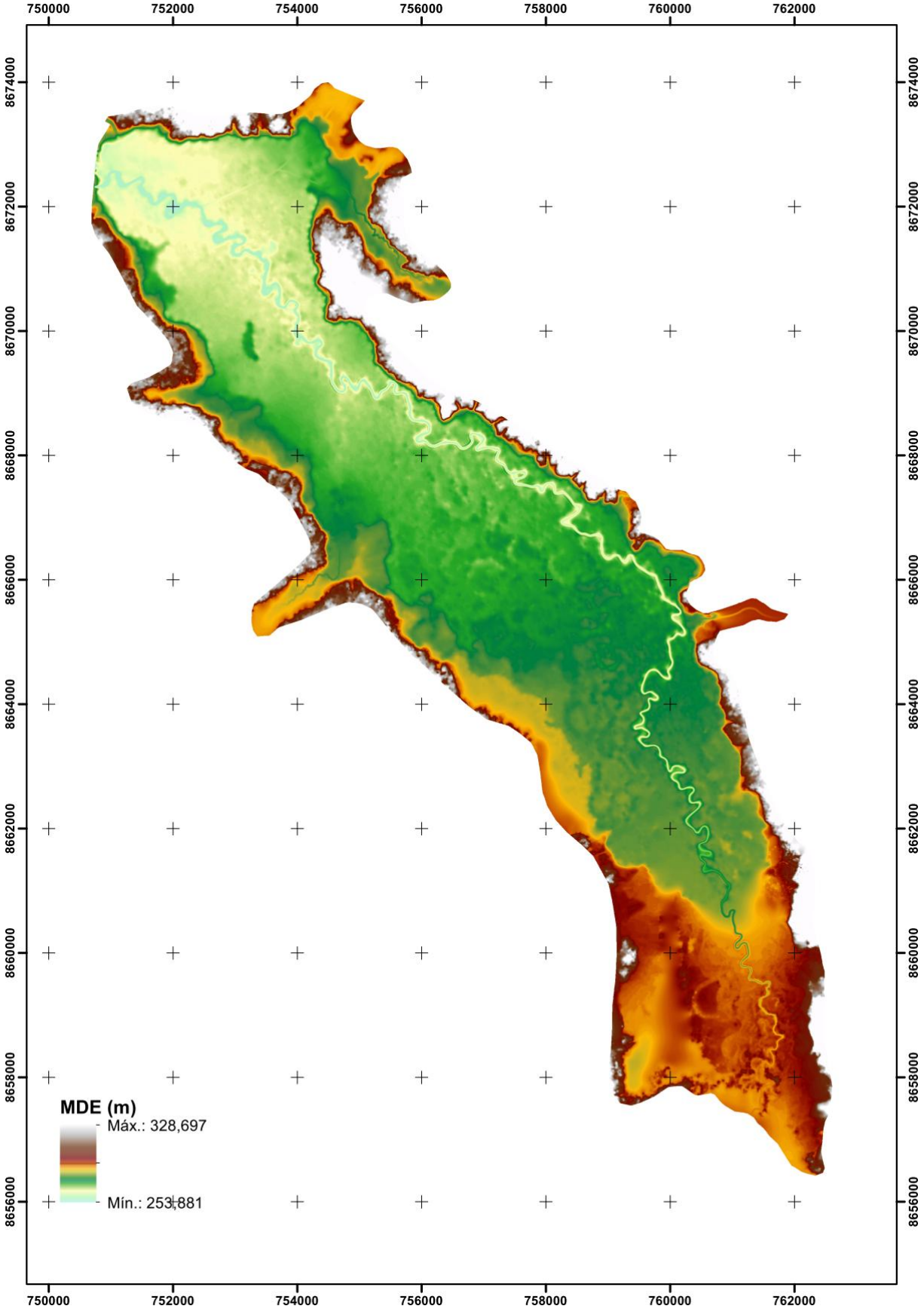


Figura 48 – Modelo Digital do Terreno do reservatório, contemplando área seca e molhada.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

5.7.1.4.1 Aparente inconsistência no MDE

A análise detalhada do Modelo Digital de Elevação (MDE) revelou uma elevação significativa na porção superior do reservatório. Essa anomalia foi inicialmente interpretada como uma descontinuidade do terreno. No entanto, à luz do histórico do rompimento da barragem e dos dados de campo, foi constatado que essa irregularidade está diretamente associada aos eventos do rompimento do reservatório, ocorridos em 9 de janeiro de 2008.

Os eventos que explicam a elevação identificada no MDE estão amplamente documentados em fontes públicas e relatórios periciais. Uma manchete relevante, publicada pelo portal G1 em 2021, destaca que "quase 14 anos após o rompimento da barragem da Usina Apertadinho, em Rondônia, as empresas responsáveis pela construção foram condenadas a pagar uma indenização de mais de R$ 6 milhões por danos ambientais"

Este incidente, atribuído a falhas de projeto e construção, desencadeou alterações drásticas no relevo e impactos ambientais severos, corroborando a presença de descontinuidades no terreno do reservatório. Para mais informações, o texto completo pode ser consultado em: g1.globo.com. Conforme descrito no laudo técnico de 2008, o rompimento resultou na remoção maciça de sedimentos e vegetação ao longo do percurso da água, causando alterações significativas no relevo local.

A elevação identificada no MDE corresponde à acumulação de sedimentos e material deslocado para a região montante, típicos de eventos de falha estrutural em barragens. Os dados batimétricos e levantamentos aerofotogramétricos realizados corroboram que a formação dessa elevação está alinhada com os depósitos sedimentares registrados pós-rompimento.

A análise da relação entre os pontos levantados e os valores estimados do MDE indica uma concentração anômala de resíduos positivos na porção superior do reservatório. A irregularidade apresenta forte correlação espacial com a área impactada pelo rompimento, conforme identificado nos levantamentos de campo e modelagem sedimentar.

A aparente inconsistência observada no MDE não reflete erros no levantamento ou na interpolação dos dados, mas sim uma evidência física do evento catastrófico de 2008. Esse achado reforça a necessidade de considerar fatores históricos e geotécnicos na análise e interpretação do MDE para evitar diagnósticos equivocados.

5.7.1.4.2 Análise estatística dos resíduos das estimativas

5.7.1.4.2.1 Análise da Relação entre Batimetria e Erro

As figuras 49 e 50 ilustram a relação entre as medições de batimetria e os erros associados, utilizando um histograma 2D com binagem hexagonal. Essa técnica permite visualizar como os erros se distribuem em relação às diferentes profundidades batimétricas, destacando as áreas com maior ou menor densidade de dados. As regiões mais claras (amarelo e laranja) representam áreas de alta densidade, indicando que um grande número de medições apresenta erros similares em determinadas faixas de batimetria. Essas áreas de alta densidade sugerem uma

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

correlação entre a batimetria e o erro, onde certos valores de profundidade estão associados a erros comuns.

Esses padrões podem indicar que, dentro dessas faixas de profundidade, os métodos de medição ou interpolação são mais consistentes ou que as características do terreno subaquático são mais homogêneas, resultando em erros mais uniformes.

As áreas mais escuras do gráfico (vermelho e preto) indicam regiões de baixa densidade, onde os erros são menos frequentes. Essas regiões podem corresponder a outliers ou a situações onde as condições de medição eram mais desafiadoras, resultando em erros maiores ou menores do que o usual. Por exemplo, isso pode ocorrer em áreas com variações abruptas na topografia submarina, onde a interpolação entre pontos pode ser menos precisa.

A interpolação das medições batimétricas foi realizada utilizando o método ANUDEM (ou "Topo to Raster") no ArcGIS, uma ferramenta poderosa para gerar Modelos Digitais de Elevação (MDE) hidrologicamente corretos. Para controlar a suavidade do modelo e evitar que os pontos de entrada fossem impressos diretamente na superfície interpolada, foi adotado um valor de 1,2 metros para o parâmetro de erro padrão vertical.

Este parâmetro é fundamental, pois permite ao ANUDEM ajustar a superfície interpolada de modo a suavizar possíveis inconsistências nos dados de entrada, evitando a criação de artefatos ou irregularidades no MDE que não correspondem à realidade física do terreno submerso.

O gráfico de "Batimetria vs Erro", que ilustra a densidade dos erros de interpolação em relação às medições de batimetria, mostra uma concentração clara de erros próximos a zero. Isso é um indicativo direto de que a maioria dos dados foi bem estimada pelo modelo, com a dispersão dos erros controlada pelo critério estabelecido (1,2 m).

A alta densidade de erros concentrados em torno de zero sugere que o modelo conseguiu captar adequadamente as variações batimétricas sem impor os valores dos pontos de entrada diretamente no MDE. Isso confirma que o critério de 1,2 m foi efetivo para evitar "overfitting" (ajuste excessivo) dos dados, resultando em um modelo suavizado que reflete a realidade submersa sem distorções significativas.

A presença de alguns erros maiores no gráfico pode ser interpretada como uma consequência natural do processo de suavização. Esses erros não devem ser vistos como falhas significativas do modelo, mas sim como ajustes necessários para garantir a integridade do MDE. Esses ajustes evitam que o modelo capture ruídos ou variações anômalas nos dados de entrada que poderiam comprometer a continuidade e a coerência da superfície batimétrica.

Além disso, os erros maiores observados no gráfico não implicam em impactos significativos na representatividade do fenômeno. Isso porque, mesmo nas áreas com erros maiores, a interpolação mantém a coerência geomorfológica do terreno, assegurando que as características gerais da batimetria sejam preservadas.

O valor de 1,2 metros para o erro padrão vertical foi adequado para controlar a dispersão dos erros. Este parâmetro permitiu ao ANUDEM ajustar a superfície interpolada de modo a evitar a sobrecarga dos pontos de dados, criando um MDE

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

que é representativo do terreno submerso real, ao mesmo tempo em que minimiza a influência de variações pontuais ou erros de medição.

A análise do gráfico de dispersão de "Batimetria vs Erro" confirma que os erros observados são devidos ao critério de suavização aplicado pelo ANUDEM, e não a falhas na modelagem ou na interpolação. A concentração de erros próximos ao mínimo indica que o modelo capturou bem as variações do terreno, enquanto os poucos erros maiores são controlados e não impactam negativamente a representatividade do fenômeno. Portanto, o valor de 1,2 metros para o erro padrão vertical foi uma escolha apropriada para garantir a criação de um MDE realista e hidrologicamente consistente, sem a introdução de artefatos ou distorções significativas.

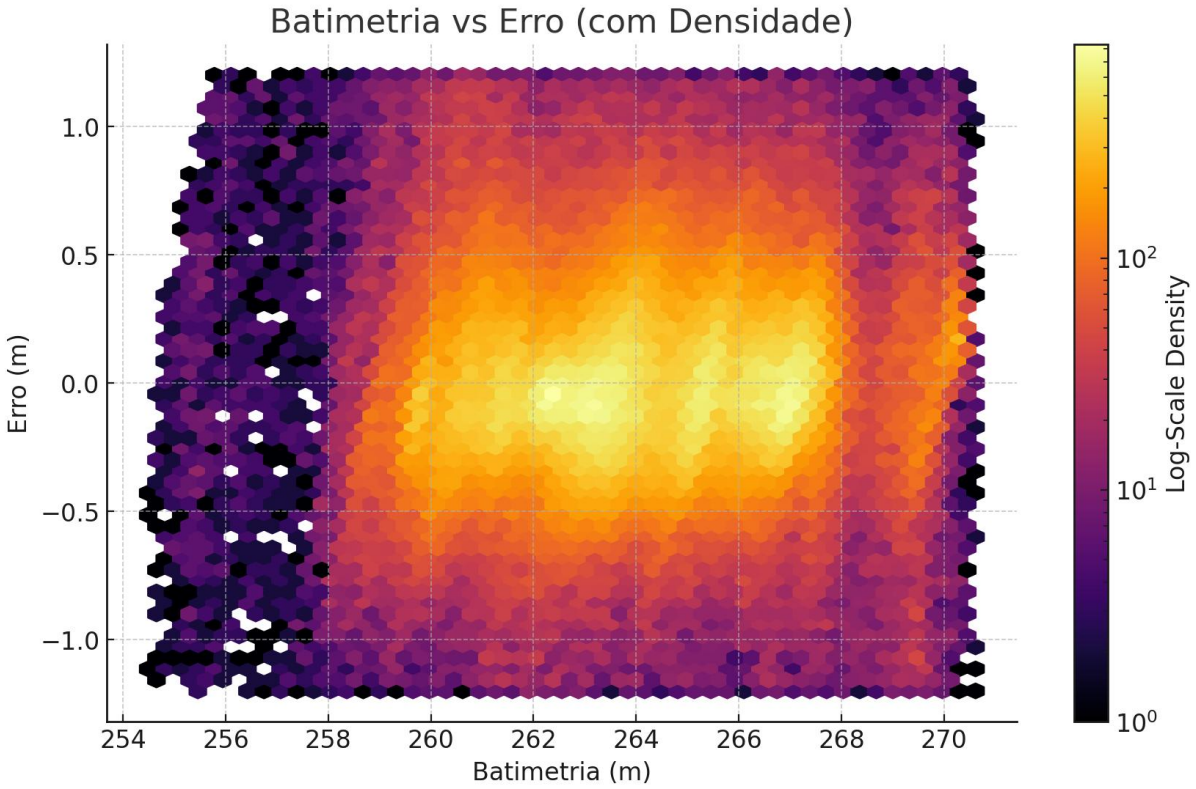


Figura 49 – Dispersão dos resíduos absolutos em função da altitude batimétrica.

A figura 49 ilustra a densidade absoluta, a distribuição dos erros em relação à batimetria é mostrada sem considerar o número total de medições. Áreas com uma alta concentração de medições são destacadas como regiões de alta densidade, independentemente da distribuição relativa dos erros dentro dessas áreas. Já a Figura 50 de densidade relativa ajusta essa perspectiva, considerando a densidade dos erros em relação ao total de pontos. Esse gráfico nos permite ver como os erros se distribuem proporcionalmente, oferecendo uma visão mais justa de onde os erros são mais significativos em relação ao conjunto total de dados.

No gráfico de densidade absoluta, observamos que as regiões com maior densidade de pontos (representadas por cores mais claras) refletem áreas onde há uma maior concentração de medições batimétricas, o que pode dar a impressão de que essas áreas têm uma distribuição de erros mais intensa.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

No gráfico de densidade relativa, essas mesmas áreas podem não aparecer com tanta ênfase, porque a densidade é normalizada em relação ao número total de pontos. Isso significa que, mesmo em regiões com muitas medições, se os erros forem proporcionais ao total de pontos, a densidade relativa não será destacada.

O gráfico de densidade relativa destaca regiões onde os erros são mais significativos em relação ao número de medições. Se uma área tem uma densidade relativa alta, isso indica que os erros nessa região são mais relevantes e merecem atenção, mesmo que a densidade absoluta não fosse tão destacada.

No gráfico de densidade absoluta, essas áreas podem não ser tão evidentes, já que a concentração de pontos pode ofuscar a relevância dos erros.

A densidade absoluta é útil para identificar onde a maioria dos erros está concentrada, mas pode ser enganosa ao sugerir que todas as áreas com alta densidade de pontos são igualmente problemáticas.

A densidade relativa, por outro lado, ajusta essa visão e permite identificar áreas onde os erros são proporcionalmente mais impactantes. Isso é crucial para priorizar intervenções ou análises adicionais, garantindo que áreas com erros mais significativos sejam tratadas primeiro, independentemente do número total de medições.

A combinação de ambas as abordagens (densidade absoluta e relativa) oferece uma visão abrangente da qualidade dos dados batimétricos. Enquanto a densidade absoluta ajuda a identificar onde há mais dados e, potencialmente, mais erros acumulados, a densidade relativa ajusta essa análise para mostrar onde os erros são mais críticos em relação ao conjunto total de dados.

Essa análise comparativa sugere que, embora as regiões de alta densidade no gráfico absoluto indiquem áreas de interesse, é o gráfico de densidade relativa que pode revelar os pontos de maior preocupação para a precisão e a confiabilidade do modelo batimétrico. Como tal, as ações corretivas ou as investigações adicionais devem ser focadas nas áreas onde a densidade relativa de erros é mais alta, garantindo uma melhor representação do fenômeno estudado.

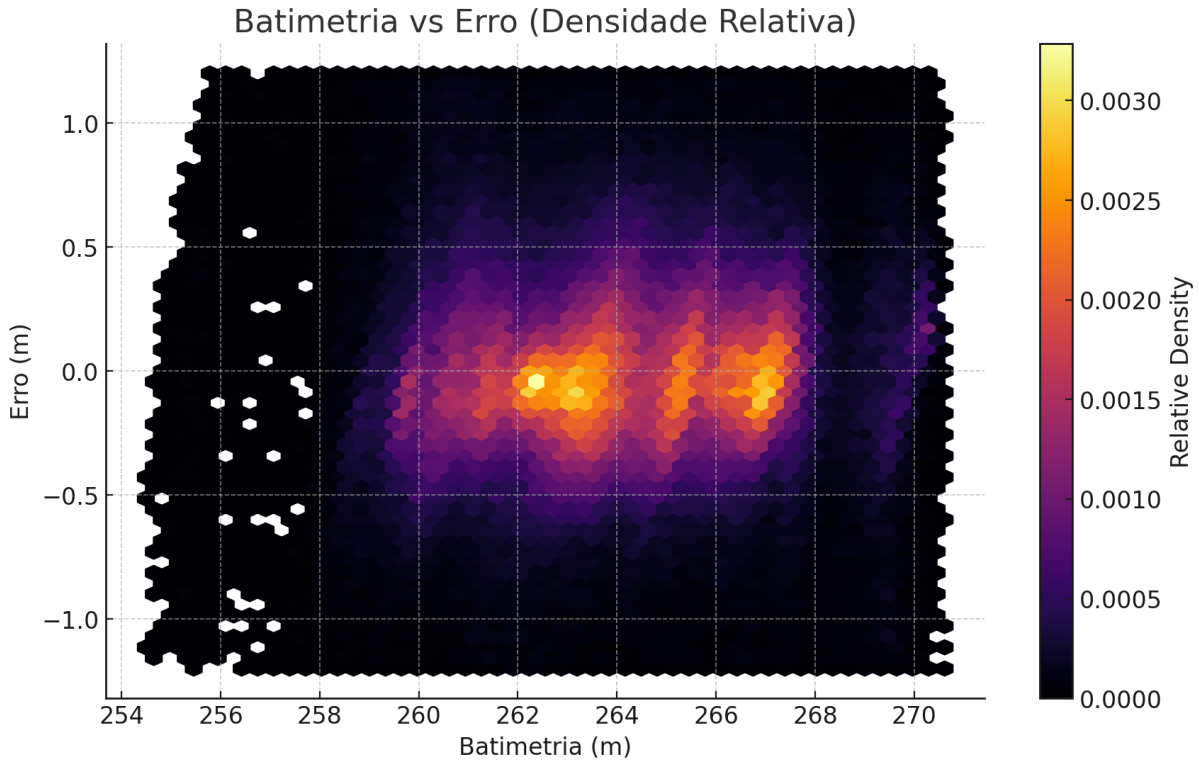


Figura 50 – Dispersão dos resíduos relativos em função da altitude batimétrica.

5.7.1.4.2.2 Distribuição dos Erros Batimétricos

O gráfico de distribuição de frequência, acompanhado do ajuste por uma distribuição normal, fornece uma visão detalhada sobre como os erros batimétricos se distribuem em relação à média. A análise dos dados revelou uma curva simétrica em torno da média, o que sugere que a distribuição dos erros segue aproximadamente uma distribuição normal, uma característica comum em dados de erro de medições. Esta forma de distribuição é esperada em muitos cenários de levantamento de dados, onde os erros menores são mais comuns do que os erros maiores.

A magnitude dos erros varia em torno de zero, com a maioria dos erros concentrados próximos à média. O fato de o ajuste normal se alinhar bem com o histograma indica que os erros possuem uma variação que pode ser modelada por uma distribuição normal, o que é útil para prever o comportamento de erros em dados futuros.

As linhas de -2σ, -1σ, +1σ e +2σ, desenhadas no gráfico, indicam os intervalos de erro em torno da média. A grande maioria dos erros se encontra dentro do intervalo de ±1σ, o que implica que cerca de 68% dos erros estão concentrados em um pequeno intervalo ao redor da média. Este fato é consistente com a ideia de que a maior parte dos erros de medição são pequenos e que grandes desvios são raros.

Os desvios que ultrapassam ±2σ, que representam aproximadamente 95% da distribuição, são poucos, indicando que grandes erros são bastante incomuns. Isso é um bom sinal para a confiabilidade do levantamento batimétrico, sugerindo que a maioria dos dados são precisos, com erros dentro de um intervalo aceitável.

O boxplot, posicionado abaixo do histograma, oferece uma visão adicional da distribuição dos erros, destacando os quartis e possíveis outliers. A mediana,

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

representada pela linha preta dentro da caixa do boxplot, está centrada muito próxima de zero, confirmando que o erro mediano é muito baixo.

Os extremos do boxplot (as "antenas") mostram a extensão dos dados dentro de 1,5 vezes o intervalo interquartil, e qualquer ponto fora dessa faixa é considerado um outlier. A presença de alguns outliers pode indicar que existem algumas medições que, por algum motivo, apresentam erros significativamente maiores. Esses outliers devem ser investigados, pois podem ser indicativos de problemas pontuais no levantamento, como falhas na interpolação ou ruído nos dados.

Para o estudo de batimetria, a análise dos erros é crucial para entender a qualidade e a precisão dos dados levantados. A distribuição normal dos erros e a concentração próxima da média são indicadores positivos, sugerindo que os métodos de levantamento e interpolação utilizados são robustos e produzem dados confiáveis. No entanto, a presença de outliers destaca a necessidade de verificação de algumas medições que podem estar comprometendo a precisão localmente.

Na prática, a confirmação de que a maioria dos erros está dentro de um intervalo estreito ao redor de zero permite aos cientistas e engenheiros confiar nos resultados do levantamento batimétrico para modelagem e análise subsequente. A análise dos outliers, por outro lado, deve ser incorporada ao processo de validação de dados, garantindo que qualquer erro significativo seja identificado e corrigido antes de se tomar decisões com base nos dados.

Em resumo, a análise gráfica e estatística dos erros batimétricos forneceu uma visão abrangente sobre a precisão dos dados levantados e destacou áreas onde melhorias ou correções podem ser necessárias. Essa abordagem combinada de análise gráfica e estatística é uma prática recomendada em levantamentos geoespaciais, assegurando que as decisões baseadas nos dados sejam fundamentadas em informações precisas e confiáveis.

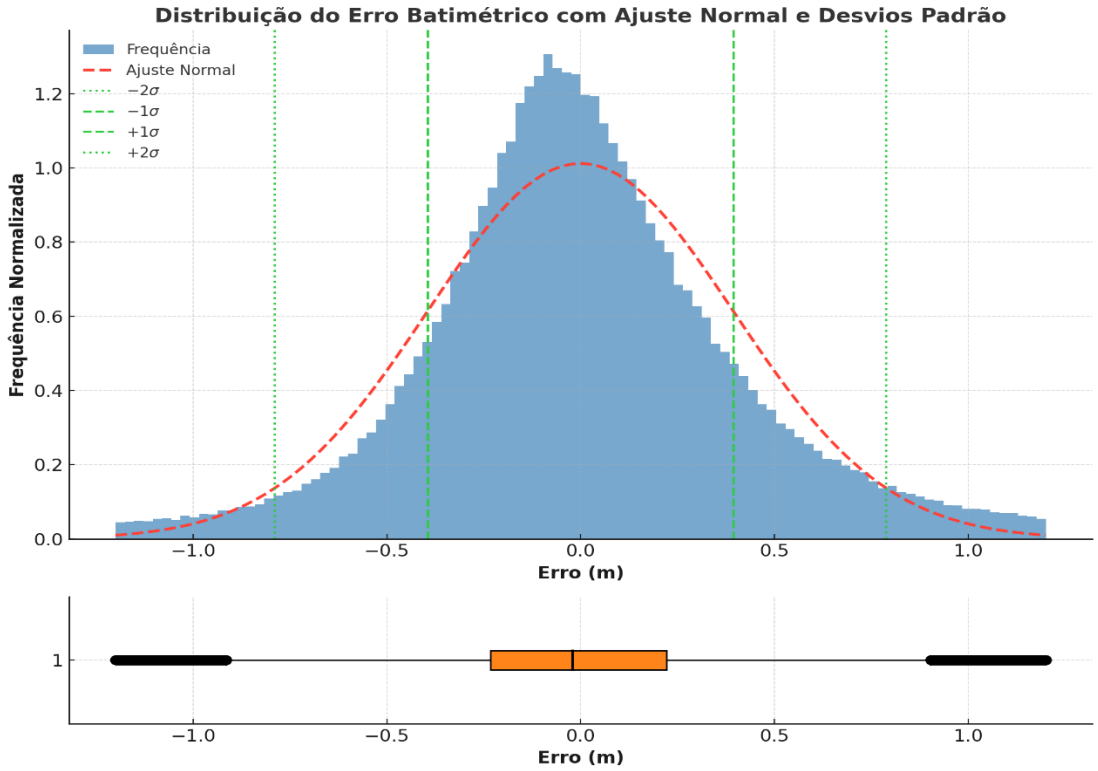


Figura 51 – Distribuição gaussiana do erro batimétrico.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

5.8 AJUSTE DA CURVA COTA X ÁREA X VOLUME

As curvas “Cota x Área x Volume” foram obtidas pela variação da posição de um plano de corte, a cada um centímetro, contemplando a variação altitudinal do reservatório. As figuras 48 a 50 e a tabela 33 ilustram a área e volume original, atualizado e o comparativo entre as mesmas, respectivamente.

As curvas Cota x Área e Cota x Volume são ferramentas essenciais para a compreensão das características de um reservatório e para a gestão eficiente dos recursos hídricos associados. As curvas analisadas para o reservatório UHE Rondon 2 revelam alterações significativas entre as condições originais e as atualizadas, as quais foram obtidas por meio de variação altitudinal do plano de corte. Estas mudanças têm implicações diretas na operação do reservatório, influenciando tanto a área alagada quanto o volume de água armazenado para diferentes cotas.

Na análise das curvas originais (Figura 48), observou-se que a relação entre a cota e a área inundada seguia uma tendência de crescimento moderado, indicando que o aumento da cota resultava em uma expansão significativa da área alagada. Esta relação é particularmente importante, pois influencia diretamente a quantidade de terra submersa, com impactos tanto ambientais quanto operacionais.

Por outro lado, a curva Cota x Volume original mostrava um aumento acentuado do volume armazenado com o aumento da cota. Este comportamento é esperado em reservatórios com grande capacidade de armazenamento, onde o volume de água cresce de forma exponencial à medida que a cota sobe. As equações ajustadas para essas curvas apresentaram coeficientes de determinação (R^2) próximos de 1,00, o que demonstra um alto grau de precisão no ajuste dos dados, indicando a confiabilidade das informações originais.

As curvas atualizadas (Figura 49) indicam uma alteração substancial nas características do reservatório. A curva Cota x Área atualizada revela uma significativa redução na área inundada para as mesmas cotas analisadas. Essa diminuição pode ser atribuída a modificações no terreno, como intervenções antrópicas ou alterações naturais que afetaram o perfil do reservatório. Em particular, a área alagada na cota de Nível de Água (N.A.) Máximo Excepcional foi reduzida em 39,6%, enquanto na cota de N.A. Mínimo Normal, a redução foi de 22,5%. Tais mudanças refletem uma diminuição da capacidade de alagamento, o que pode impactar a distribuição espacial de habitats aquáticos e a biodiversidade local.

A análise da curva Cota x Volume atualizada mostra uma redução ainda mais expressiva no volume de água armazenado, com uma diminuição de até 28,0% na cota de N.A. Mínimo Normal. A redução do volume útil, que corresponde à diferença entre o volume no N.A. Máximo Normal e no N.A. Mínimo Normal, foi de 39,2%, indicando uma menor capacidade de regular o fluxo de água e de gerar energia hidroelétrica com eficiência.

A comparação direta entre as curvas originais e atualizadas (Figura 50) destaca a magnitude das mudanças ocorridas no reservatório. As reduções tanto na área quanto no volume são evidentes em praticamente todas as cotas analisadas, demonstrando que as modificações no reservatório tiveram um impacto em suas características operacionais.

Essas alterações sugerem que o reservatório, em sua condição atualizada, possui uma menor capacidade de armazenamento e uma área alagada mais restrita, o que pode comprometer sua função principal, seja na geração de energia, controle de inundações, ou manutenção de habitats aquáticos. A redução no volume útil pode limitar a flexibilidade operacional do reservatório, especialmente em períodos de seca, quando a disponibilidade de água é crítica.

As mudanças identificadas nas curvas Cota x Área e Cota x Volume têm implicações significativas. Operacionalmente, a menor capacidade de armazenamento pode exigir ajustes na gestão do reservatório para garantir o fornecimento de água e energia, bem como para minimizar os impactos em períodos de cheia. Ambientalmente, a redução da área alagada pode alterar os ecossistemas aquáticos, impactando a fauna e a flora locais e alterando a dinâmica dos nutrientes e sedimentos.

Essas mudanças também podem demandar uma revisão das estratégias de manejo do reservatório, considerando tanto a segurança hídrica quanto a sustentabilidade ambiental. As autoridades responsáveis pela operação do UHE Rondon 2 devem considerar estas alterações no planejamento futuro, de modo a assegurar a continuidade da operação eficiente e a mitigação de possíveis impactos ambientais negativos.

Em conclusão, as atualizações nas curvas Cota x Área e Cota x Volume do reservatório UHE Rondon 2 indicam uma diminuição substancial na capacidade operacional e na área alagada do reservatório. Tais mudanças requerem atenção especial por parte dos gestores para garantir que o reservatório continue a cumprir suas funções de maneira eficaz, minimizando os riscos associados à menor capacidade de armazenamento e à modificação dos ecossistemas aquáticos.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

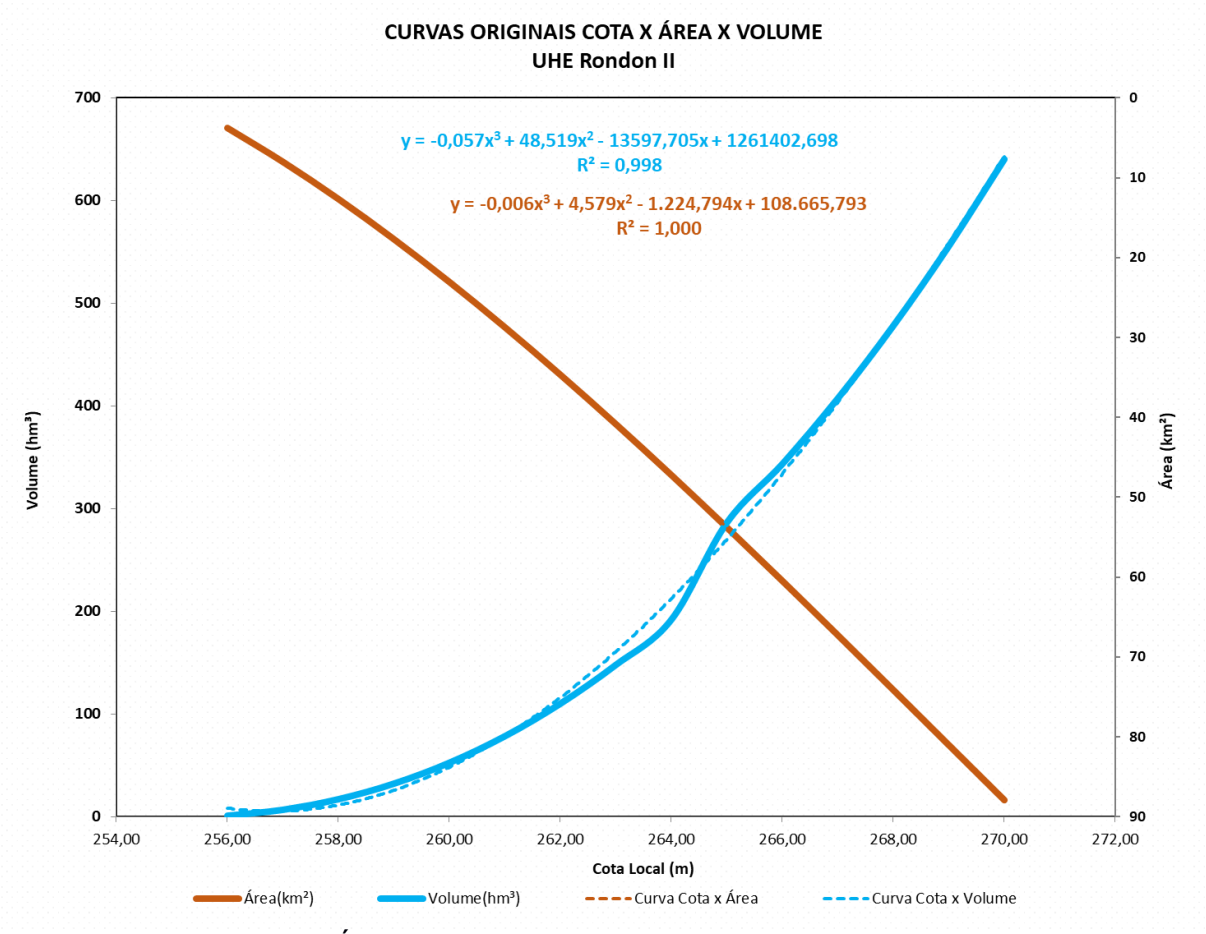


Figura 48 – Curva Cota x Área e Cota x Volume original.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

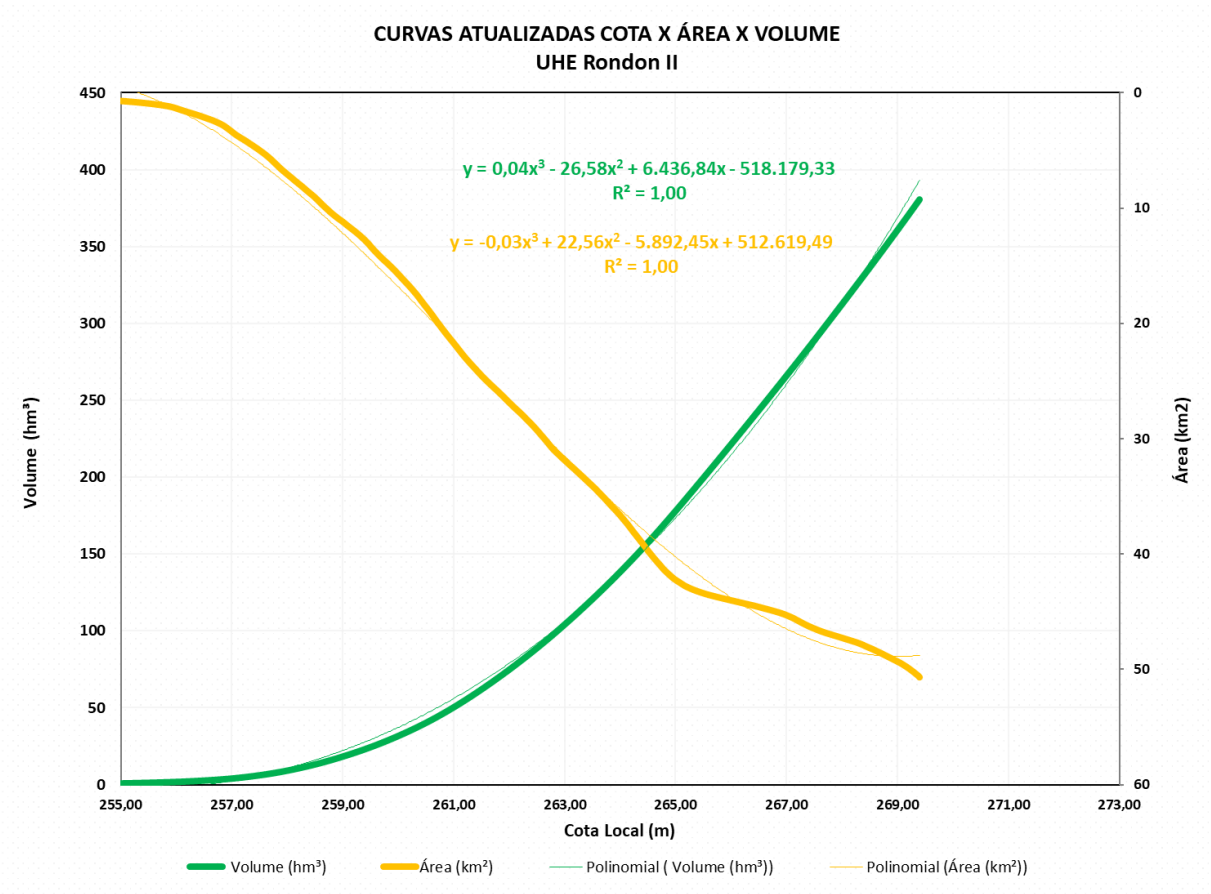


Figura 49 – Curva Cota x Área e Cota x Volume atualizada.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

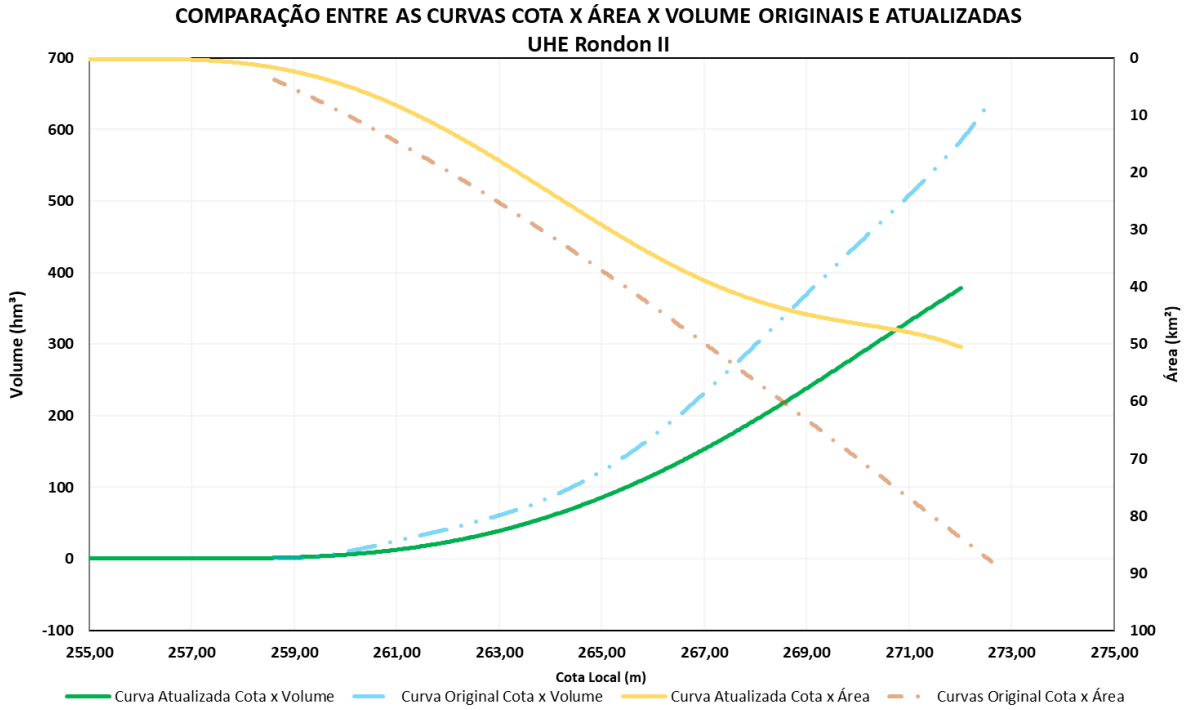


Figura 50 – Curva Cota x Área e Cota x Volume original versus atualizada.

Tabela 33 – Relação entre diferentes N.A. do reservatório e seu histórico de atualização.

Parâmetro	N.A. Máximo Excepcional (m)	N.A. Máximo Normal (m)	N.A. Mínimo Normal (m)	Volume Útil (hm^3)
Área Original (km^2)	83.92	74.17	47.26	-
Área Atualizada (km^2)	50.70	47.28	36.65	-
Diferença (%)	**-39.6%**	**-36.3%**	**-22.5%**	**-**
Volume Original (hm^3)	591.59	478.29	192.17	286.12
Volume Atualizado (hm^3)	380.56	312,38	138.42	173.96
Diferença (%)	**-35.7%**	**-34.7%**	**-28.0%**	**-39.2%**

5.9 RELAÇÃO ENTRE O REFERENCIAL DE NÍVEL ATUAL E O REFERENCIAL DE NÍVEL DE PROJETO

Nas Figuras 54 a 57, são apresentadas as fontes de informação utilizadas para relacionar a diferença de altitude entre os referenciais de nível de projeto e aqueles obtidos com GNSS, posteriormente à implantação do empreendimento. A variação entre esses níveis foi de 1,72 m, resultante da diferença entre os valores da altitude do zero da régua instalada no maciço da barragem e a referência obtida no projeto construtivo, ou seja, 256,221 m e 254,50 m, respectivamente.

A altitude no zero da régua foi determinada a partir da medição do RN instalado no maciço do barramento (Figura 53), que possui altitude ortométrica de 272,92 m (Figura 54). Com base nesse valor, foi realizado o nivelamento geométrico da escala (Figura 55), resultando em um desnível de 16,699 m, ou seja, uma altitude

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

ortométrica de 256,211 m (ou seja, 272,92 m – 16,699 m), conforme registrado na Ficha Descritiva de Estação Hidrometeorológica (Figura 56).

Por outro lado, o RN de projeto obtido no maciço correspondeu a uma altitude de 271,00 m (Figura 57, ver eixo da barragem), e o ponto referencial, que hoje corresponde ao zero da régua, apresentou no projeto uma altitude de 254,50 m. O desnível registrado foi de 16,5 m, diferente do valor de 16,699 m observado na ficha de nivelamento. Essa diferença de 19,9 cm pode ser explicada pela própria estrutura do marco materializado, que possui altura aproximada de 20 cm (Figura 53). Entretanto, a ondulação geoidal do MOG-IBGE correspondeu a 13,57 m, já do MOGL-Rondon 2 correspondeu a 12,682 m, ou seja, com uma diferença de 0,888 m. Dessa forma, pode-se considerar que a real variação entre a altitude do zero da régua trata-se da diferença entre as altitudes 257,109 m (286,49 -12,682 -16,699)[2] e 254,50 m, ou seja 2,609 m.

Tabela 34 – Correlação entre RN Atual e RN de Projeto.

Parâmetro	Variável	Unidade	Fonte
Altitude Elipsoidal (geométrica)	286.49	m	Figura 54
Ondulação Geoidal - IBGE	13.57	m	Figura 54
Altitude Ortométrica - IBGE	272.92	m	Figura 54
Altitude Elipsoidal (geométrica)	286.49	m	Figura 54
Ondulação Geoidal - MOGL	12.682	m	Figura 22
Altitude Ortométrica - MOGL	273.808	m	
Altitude Ortométrica - Projeto	271	m	Figura 57
Desnível do RN até o 0 da régua - Nivelamento	16.699	m	Figura 55
Desnível do RN até o 0 da régua - Projeto	16.5	m	Figura 57
0 da régua - Projeto	254.5	m	Figura 57
0 da régua - Nivelamento - IBGE	256.221	m	Figura 56
0 da régua - Nivelamento - MOGL	257.109	m	
CORRELAÇÃO RN Atual x RN de Projeto	**2.609**	**m**	

[2] (Altitude elipsoidal -Ondulação Geoidal do MOGL-Rondon 2 -Desnível até o zero da régua)

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

Figura 53 – RN instalado no maciço do barramento.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

Sumário do Processamento do marco: N/A

Início: AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2015/01/21 13:09:46,00
Fim: AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2015/01/21 13:51:01,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	MAG990596 NONE
Órbitas dos satélites:[1]	RÁPIDA
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s)**:**	1,00
Sigma[2] **da pseudodistância**(m)**:**	2,000
Sigma da portadora(m)**:**	0,015
Altura da Antena[3](m)**:**	2,000
Ângulo de Elevação(graus)**:**	10,000
Resíduos da pseudodistância(m)**:**	0,50 GPS 0,37 GLONASS
Resíduos da fase da portadora(cm)**:**	1,01 GPS 0,65 GLONASS

Coordenadas Sirgas

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (É a que deve ser usada)[4]	-11° 59′ 43,3858″	-60° 41′ 48,6201″	286,49	8672908.684	750786.411	-63
Na data do levantamento[5]	-11° 59′ 43,3802″	-60° 41′ 48,6213″	286,49	8672908.856	750786.376	-63
Sigma(95%)[6] (m)	0,011	0,041	0,030			
Modelo Geoidal	MAPGEO2010					
Ondulação Geoidal (m)	13,57					
Altitude Ortométrica (m)	272,92					

Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
Após 1 hora	0,450	1,000	0,030	0,050
Após 2 horas	0,300	0,800	0,015	0,025
Após 4 horas	0,200	0,500	0,006	0,015
Após 6 horas	0,180	0,400	0,004	0,010

Figura 54 – PPP do RN instalado no maciço do barramento.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

FICHA DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO

RIO: COMEMORAÇÃO | **POSTO:** RÉGUA BARRAGEM

ESCALAS

Acesso:BOM		Estado de conservação: BOM		Leitura: 1185 cm
Estabilidade:BOA	Reparos: NÃO	Limpeza: SIM	Pintura: SIM	Nivelamento: SIM

SEÇÃO MEDIDORA

Acesso: --	Estado das margens: --	Estado do leito: --
Medição de descarga: - -- -	Tipo de medição: - -- -	

REFERÊNCIA DE NÍVEL

Cota Arbitrária: RN 01: 16699 mm — Cota Arbitrária: RN 02: 16.717 mm

Altitude Geoidal: RN 01: 272,920 m — Altitude Geoidal : RN 02: 272,938 m

VERIFICAÇÃO DO NIVELAMENTO DA ESCALA

PRIMEIRA					SEGUNDA				
P.V	RÉ	VANTE	Plano	COTAS	P.V	RÉ	VANTE	Plano	COTAS
NA-MD	4876		16726	11850	RN 02	425		17142	16717
L1400/1500	2785	2726	19511	14000	RN 01		443		16699
RN 01		2812		16699	L1400/1500	1045	3142	15045	14000
RN 02		2794		16717	NA-MD		3195		11850

Corrigidos os deslocamentos do	1º lance	2º lance	3º lance	4º lance
	--	--	--	--

Observação: Referência ao NA = régua 1100 / 1300 = 11,850 m
A amarração das cotas está de acordo com o talvegue da seção medida.

INSPECIONADO POR: Téc^{GO}. Bruno Martins — EM: 21 / 01 / 2015.

Figura 55 – Ficha de Nivelamento Geométrico da escala instalada no barramento.

INFRA-ESTRUTURA EXISTENTE
RÉGUAS LINIMÉTRICAS DE ALUMÍNIO FIXADAS EM ESTRUTURA DE MADEIRAS E RRNN DE CALOTA DE ALUMÍNIO CHUMBADA EM BLOCO DE CONCRETO INSTALADO JUNTO A MARGEM COM ESTABILIDADE BOA, COM LANCES PARA LEITURAS 1100/1300 E 1300/1500.

POTAMOGRAFIA (rios afluentes)
ESTAÇÃO NO BARRAMENTO NA ÁREA DO LAGO DO RIO COMEMORAÇÃO COM MARGENS ESTÁVEIS COM INCLINAÇÃO ALTA, COM VEGETAÇÃO DE PEQUENO PORTE COM LEITO ROCHOSO.

SEÇÃO DE RÉGUAS

Margem	Amplitude (m)	Altitude do Zero da Régua com relação ao nível do mar (m)	Lances instalados
Barragem	12,00	256,221	02

REFERÊNCIAS DE NÍVEL

RN	Cota (mm)	Altitude dos RN's com relação ao nível do mar (m)	Estabilidade	Descrição dos RN's
RN 01	16699	272,920	BOA	Bloco de concreto em formato tronco piramidal 20x20 por 12x12 aflorando 20 cm.
RN 02	16717	272,938	BOA	

COTA DE TRANSBORDAMENTO (SEÇÃO DE RÉGUAS (m)

MARGEM (ESQUERDA OU DIREITA)	COTA (m)
MARGEM ESQUERDA	268,457
MARGEM DIREITA	268,457

SEÇÃO DE MEDIÇÃO DE DESCARGA LÍQUIDA E SÓLIDA

Distância da Seção de Réguas (m)	Localização	Tipo de Travessia
--	--	--

Distância PI/PF (m)	Natureza do Leito	Processos de Medição
--	--	--

MESES DE OPERAÇÃO DA ESTAÇÃO

( ) janeiro ( ) fevereiro (X) março ( ) abril ( ) maio (X) junho
( ) julho ( ) agosto (X) setembro ( ) outubro ( ) novembro (X) dezembro

CARACTERÍSTICAS DO TRECHO (SEÇÃO DE MEDIÇÃO)

REGIME: (X)Perene ( ) Intermitente ( ) Efêmero
CONFORMAÇÃO: (X) Retilíneo ( ) Anastomosado ( ) Meandrante ( ) Curvo
FUNDO: ( ) Regular (X) Irregular

NATUREZA E INCLINAÇÃO DAS MARGENS (SEÇÃO DE MEDIÇÃO)

MARGEM	NATUREZA	VEGETAÇÃO	INCLINAÇÃO
ESQUERDA	ROCHA	PEQUENO PORTE	ALTA
DIREITA	ROCHA	PEQUENO PORTE	ALTA

CONTROLE (SEÇÃO DE RÉGUAS - JUSANTE)

TIPO DE CONTROLE	DISTÂNCIA DA SEÇÃO DE RÉGUAS (m)
--	--

POSIÇÃO EM RELAÇÃO À REDE HIDROLÓGICA

Figura 56 - Ficha descritiva de estação hidrometeorológica.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

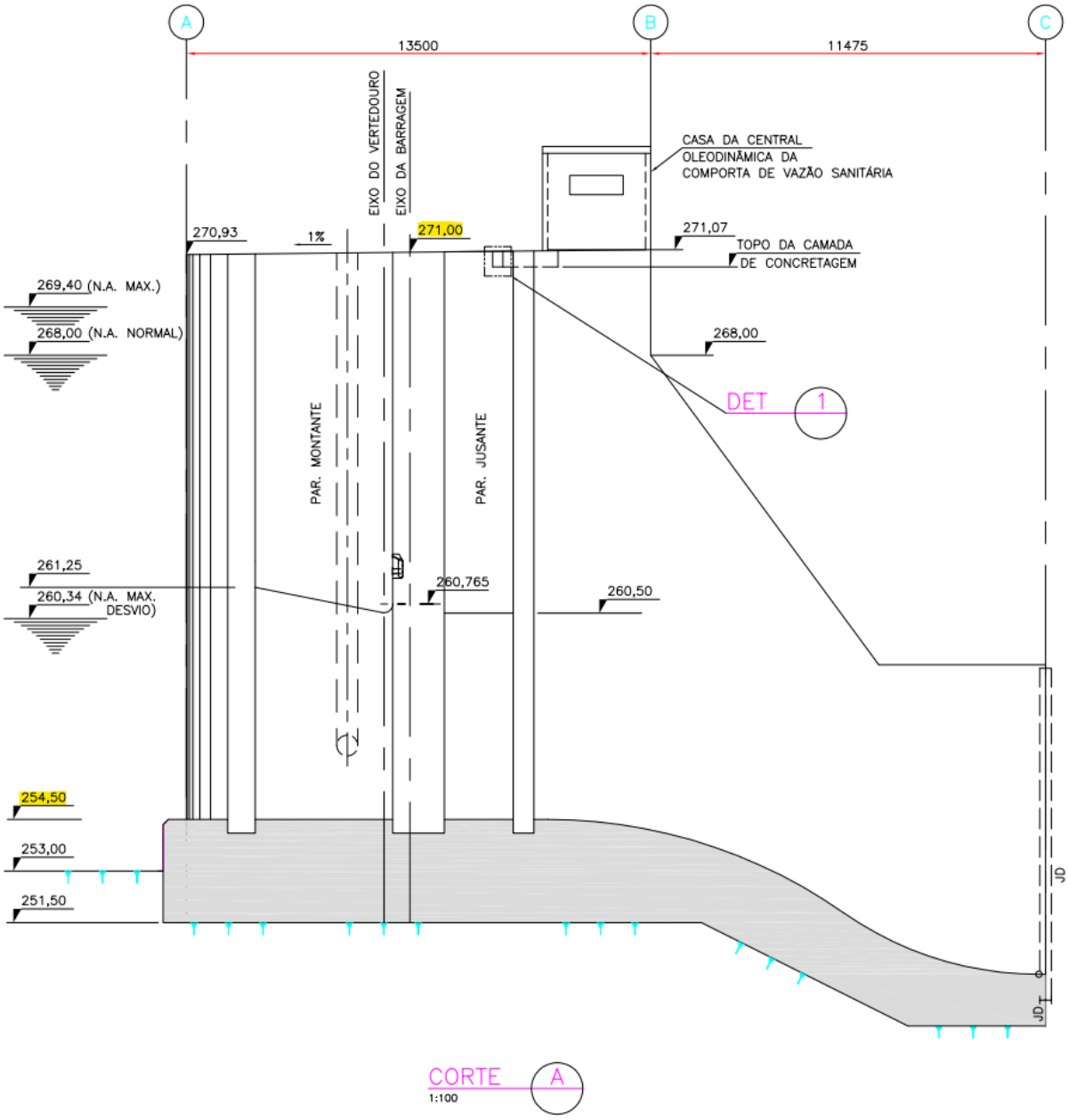


Figura 57 – Vista lateral do projeto construtivo da estrutura de desvio.

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

6 PRODUTOS ENTREGUES

Tabela 6.1 – Relação de produtos e respectivas fontes.

ITEM	PRODUTOS GERAIS	DESCRIÇÃO
1	Relatório detalhado sobre a implantação da RVG;	**Este documento**
2	Relatório técnico detalhado de Construção do MGL e/ou utilização do MapGeo 2010, bem como a superfície que o representa, em formato raster;	**Esse documento**
3	Relatório de instalação e nivelamento de réguas;	**Esse documento**
4	Relatórios fotográficos;	**Esse documento**
5	Relatório detalhado das metodologias e resultados do levantamento e validação dos dados batimétricos;	**Esse documento**
6	Relatório técnico detalhado do levantamento da área seca.	**Esse documento**
	Aplicando-se Topografia Convencional ou GPS	
7	Memoriais descritivos dos marcos da poligonal enquadrada contendo necessariamente a logomarca da empresa, a identificação dos mesmos, as coordenadas planialtimétricas no sistema de referência SIRGAS, altitude ortométrica referenciada ao datum Imbituba, os respectivos erros de execução ao longo das 3 componentes de posicionamento, croqui e itinerário de localização, fotografia e responsável pela execução do levantamento;	**Não aplicável** Exceto o nivelamento, não se aplicou topografia convencional.
8	Arquivos no formato RINEX de todos os levantamentos GPS, contendo necessariamente o receptor utilizado, a identificação do marco, a altura e o modelo da antena aplicada no campo;	**Diretorio:** ...\ANEXOS\NIVELAMENTO\GNSS
9	Relatório, em formato DOC, contendo a metodologia adotada na construção da poligonal enquadrada e do transporte altimétrico, os resultados finais dos processamentos GPS e dos produtos gerados;	**Não aplicável** Exceto o nivelamento, não se aplicou topografia convencional.
10	Cadernetas de campo utilizadas durante a coleta de informações da parte seca de cada seção topobatimétrica, formato ASCII;	**Não aplicável** A parte seca foi medida por aerofotogrametria
11	Arquivo digital, em formato geodatabase ou shp, de todos os elementos que compõem o reservatório, em especial as suas isóbatas e o corpo do barramento. Esses elementos deverão ser separados em layers e possuir, no mínimo, o campo "cota" como atributo e completamente preenchido;	**Diretorio:** ...\ANEXOS\ARQUIVOS_DIGITAIS\FEICOES
12	Modelo Digital de Elevação elaborado a partir dos levantamentos das áreas molhada e seca do reservatório, em formato GEOTIFF;	**Diretorio:** ...\ANEXOS\ARQUIVOS_DIGITAIS\RASTER
13	Arquivo contendo necessariamente a latitude, a longitude e a altitude ortométrica de cada ponto determinados no levantamento topobatimétrico do reservatório;	**Diretorio:** ...\ANEXOS\BATIMETRIA\SHP
14	Ecogramas e arquivos digitais, oriundos da coleta de informações da parte molhada de cada linha de sondagem.	**Diretorio:** ...\ANEXOS\ARQUIVOS_DIGITAIS\FEICOES ...\ANEXOS\SECOES_CON

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

		TROLE
15	Caderneta de campo das observações de flutuação do nível do reservatório, em formato ASCII.	**Diretorio:** ...\ANEXOS\REGUAS
16	Memoriais descritivos dos marcos da RVG	...\ANEXOS\NIVELAMENTO \GNSS\MONOGRAFIAS_RGV
17	Arquivos digitais de implantação e processamento dos dados do nível d'água ao longo do reservatório.	**Diretorio:** ...\ANEXOS\REGUAS
18	Arquivo digital, em formato DWG – versão 2002 ou inferior, de todos os elementos que compõem o reservatório, em especial as suas isóbatas (em 3D) e o corpo do barramento.	...\ANEXOS\ARQUIVOS_DIGITAIS\DWG
19	Arquivo único, em formato ASCII, do levantamento topobatimétrico do reservatório.	...\ANEXOS\BATIMETRIA\PRIMITIVOS
20	Observações de flutuação do nível do reservatório	...\ANEXOS\REGUAS
21	Planilha resumo (Curvas CAV), constando as tabelas de dados e curvas cota x área x volume original e atualizada, assim como suas comparações.	...\ANEXOS\CAV
	Aplicando-se Aerofotogrametria	
22	Relatório, em formato DOC, de todo processo aerofotogramétrico, explicitando as metodologias e equipamentos empregados na cobertura aérea, na tomada das fotos, apoio terrestre, aerotriangulação, restituição e geração do MDT;	**Esse documento**
23	Arquivos no formato RINEX de todos os levantamentos GPS, contendo necessariamente o receptor utilizado, a identificação do marco, a altura e o modelo da antena aplicada no campo;	**Diretorio:** ...\ANEXOS\AEROLEVANTAMENTO \RINEX_LOG
24	Modelo Digital de Elevação elaborado a partir dos levantamentos das áreas molhada e seca do reservatório, em formato GEOTIFF;	**Diretorio:** ...\ANEXOS\ARQUIVOS_DIGITAIS\RASTER
25	Arquivos no formato GEOTIFF de todas as imagens empregadas na construção do Modelo Digital de Elevação (parte seca);	ANEXOS\AEROLEVANTAMENTO\FOTOS_AEREAS

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

7 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO-NORMATIVO

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Especificações e normas gerais para levantamento geodésico. Resolução PR n° 22 (21/07/1983).

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Especificações e normas gerais para levantamento GPS: Versão preliminar. Resolução PR n° 05 (31/03/1993).

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Resolução do presidente nº 22/2005, de 25/02/2005 que Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13133. Execução de Levantamento topográfico. Rio de Janeiro, maio de 1994.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14166. Rede de referencia cadastral municipal - Procedimento. Rio de Janeiro, agosto de 1998.

INCRA – INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA

Norma técnica para georreferenciamento de imóveis rurais – 2ª Edição. Agosto de 2010.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manual do usuário posicionamento por ponto preciso. Versão março 2009. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Recomendações para levantamentos relativos estáticos - GPS. Abril de 2008. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13133: Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 1994. 35 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10068: Folha de desenho – leiaute e dimensões. Rio de Janeiro, 1987. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10582: Conteúdo da folha para desenho técnico. Rio de Janeiro, 1988. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14166: Rede de referência cadastral. Rio de Janeiro, 1994. 35 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8196: Emprego de escalas em desenho técnico. Rio de Janeiro, 1983.

RBAC-E nº 94, da ANAC

Portaria 953

IS nº E94-001 - Revisão A, da ANAC

IS nº E94-002 - Revisão A, da ANAC

IS nº E94-003 – Revisão A, da ANAC (esta IS)

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br

IS nº E94.503-001 – Revisão A, da ANAC

Resolução nº 25/2008, da ANAC

ICA 100-40, reeditada em 10 de março de 2017, do DECEA

ICA 100-12, reeditada em 10 de novembro de 2016, do DECEA

ICA 100-37, reeditada em 10 de novembro de 2016, do DECEA

Resolução Anatel nº 242, de 30 de novembro de 2000

Resolução Anatel nº 506, de 1º de julho de 2008

Resolução Anatel nº 635, de 9 de maio de 2014;

Portaria Normativa n° 953 /MD

Lei nº 11.182, de 27 de setembro de 2005

Rua da Lapa nº409 – CEP.: 78.008-830 – Tel. (65) 3052-9887 – Cuiabá, MT – www.pbhidrometria.com.br