

**FAMIG – FACULDADE MINAS GERAIS  
GEOVÁ ALVES DA COSTA**

**LEVANTAMENTO TOPOBATIMÉTRICO PARA CÁLCULOS DE COTAS X ÁREAS  
X VOLUMES E RESERVATÓRIOS UTILIZANDO RPAS COM SENSOR LIDAR  
EMBARCADO E ECOBATIMETRO MONOFEIXE.**

**Belo Horizonte  
2023**

**GEOVÁ ALVES DA COSTA**

**LEVANTAMENTO TOPOBATIMÉTRICO PARA CÁLCULOS DE COTAS X ÁREAS  
X VOLUMES E RESERVATÓRIOS UTILIZANDO RPAS COM SENSOR LIDAR  
EMBARCADO E ECOBATIMETRO MONOFEIXE.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Faculdade de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientador: Prof.º Diego de Jesus Queiroz Rosa

Belo Horizonte

2023

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>5</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>9</b>
<b>3.1. OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>9</b>
<b>3.2. OBJETIVO ESPECIFICOS.....</b>	<b>9</b>
<b>4. DIRTRIZES GERAIS.....</b>	<b>10</b>
<b>5. VANTAGENS COMPETITIVAS.....</b>	<b>10</b>
<b>6. RELAÇÃO DOS RECURSOS NECESSÁRIOS.....</b>	<b>11</b>
<b>7. INFORMAÇÕES GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>12</b>
<b>8. ENQUADRAMENTO DO RESEVÁTÓRIO (POTENCIAL DE SEDIMENTOS X DISPONIBILIDADE DE DOCUMENTAÇÃO CARTOGRÁFICA) .....</b>	<b>13</b>
<b>9. METODOLOGIA DESENVOLVIDA.....</b>	<b>14</b>
<b>9.1. ETAPA I - IMPLANTAÇÃO DA REDE DE VÉRTICES GEODÉSICOS .....</b>	<b>15</b>
<b>9.2. ETAPA II - MAPEAMENTO DE ÁREA MOLHADA DO RESERVATÓRIO ...</b>	<b>16</b>
<b>9.3. ETAPA III - LEVANTAMENTO DE ÁREA SECA DO RESERVATÓRIO.....</b>	<b>18</b>
<b>9.4. ETAPA IV - COMPATIBILIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS .....</b>	<b>22</b>
<b>10. RESULTADOS FINAIS .....</b>	<b>25</b>
<b>11. CONCLUSÃO .....</b>	<b>26</b>
<b>12. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>27</b>

## RESUMO

Os avanços das tecnologias e de equipamentos cada vez mais modernos como RPAS, GNSS, sensor LiDAR e ECOBATÍMETROS tem revolucionado a topografia, oferecendo ferramentas mais avançadas e eficazes para coletar, analisar e representar dados permitindo uma abordagem mais precisa, eficiente e versátil para a coleta de informações geoespaciais. Essas tecnologias têm aplicações amplas, nesse trabalho apresentaremos uma metodologia para o desenvolvimento de levantamento topobatimétrico com RPAS e LiDAR é uma abordagem avançada que proporciona dados detalhados e altamente precisos para o cálculo das cotas, áreas e volumes de reservatórios. Essa técnica representa uma solução eficaz e eficiente para o monitoramento e gestão de recursos hídricos, atendendo às demandas de empresas operadoras de reservatórios e órgãos ambientais.

**Palavras-chave:** Topografia. Tecnologias. Informações geoespaciais. Recursos hídricos. Levantamento topobatimétrico.

## ABSTRACT

The advances in technologies and increasingly modern equipment such as RPAS, GNSS, LiDAR sensors, and ECOBATIMETERS have revolutionized topography, providing more advanced and effective tools for collecting, analyzing, and representing data, allowing for a more precise, efficient, and versatile approach to geospatial information collection. These technologies have broad applications, and in this work, we will present a methodology for the development of topobathymetric surveys using RPAS and LiDAR, which is an advanced approach that provides detailed and highly accurate data for calculating elevations, areas, and volumes of reservoirs. This technique represents an effective and efficient solution for monitoring and managing water resources, meeting the demands of reservoir operating companies and environmental agencies.

**Keywords:** Topography. Technologies. Geospatial information. Water resources. Topobathymetric survey.

## 1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho, exploramos essa abordagem inovadora, que combina a versatilidade dos RPAS com a precisão do LiDAR, para realizar levantamentos topobatimétricos de alta qualidade. Abordaremos as técnicas, metodologias e vantagens dessa combinação tecnológica, destacando como ela pode ser aplicada de forma eficaz na atualização de curvas de cota x área x volume (CAV) em reservatórios.

O levantamento topobatimétrico desempenha um papel fundamental na gestão de reservatórios e corpos d'água, fornecendo dados cruciais para calcular cotas, áreas e volumes. Com os avanços tecnológicos, a utilização de RPAS (Veículos Aéreos Não Tripulados) equipados com sensores LiDAR embarcados tem revolucionado essa prática.

Ao longo deste estudo, examinaremos os aspectos técnicos como a integração dessas tecnologias que oferece uma solução eficiente e precisa para a obtenção de dados essenciais para uma melhor compreensão e monitoramento dos reservatórios, além disso abordaremos também a importância desses levantamentos para a gestão sustentável de recursos hídricos.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

No presente capítulo, será examinado o tópico referente à regulamentação associada aos Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS), visando a compreensão dos conceitos pertinentes e sua aplicabilidade no contexto do mercado de engenharia. O propósito é validar o objeto deste estudo como uma ferramenta tecnológica emergente, caracterizada por sua acessibilidade e pela diversidade de recursos disponíveis.

Em termos coloquiais e de uso comum, o termo "drones" é empregado para fazer referência aos dispositivos conhecidos como equipamentos remotamente pilotados. A sigla VANT, por sua vez, corresponde à tradução do termo UAV (Unmanned Aerial Vehicle), sendo esta uma denominação abrangente para qualquer equipamento que adentre o espaço aéreo sem a presença de tripulação. Em um contexto técnico, utiliza-se a designação RPAS, que representa o acrônimo para Remotely Piloted Aircraft System (Sistema de Aeronaves Remotamente Pilotadas), conforme estabelecido pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA 2020).

### REGULAMENTAÇÃO PARA O USO DE DRONES

Atualmente, observa-se uma crescente popularização da utilização de drones, enquanto as autoridades responsáveis pela aviação civil em diversos países têm intensificado seus estudos e esforços para compreender a fundo essa atividade e integrá-la de maneira efetiva ao espaço aéreo local (SILVA, 2018). De suma importância no contexto da segurança e privacidade dos indivíduos, o controle de possíveis colisões, o gerenciamento do risco de pirataria e a prevenção do uso indevido para fins ilegais, a regulamentação em torno da operação de Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) se torna imperativa para a adequada governança desse mercado.

Os RPA, por sua vez, são categorizados conforme o peso máximo de decolagem (PMD) que ostentam, sendo que a regulamentação abrange tanto os voos recreativos quanto os não recreativos, os quais se desdobram de maneira não autônoma, conforme delineado pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC 2017):

**Classe 1:** peso máximo de decolagem maior que 150 kg;

**Classe 2:** peso máximo de decolagem maior que 25 kg e até 150 kg; e

**Classe 3:** peso máximo de decolagem de até 25 kg. possa continuar expandindo (SCHREIBER; OSTIARI, 2014).

No âmbito nacional, a operação e a utilização civil de Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs) são sujeitas a regulamentação por três órgãos específicos, a saber: a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2017), o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA, 2020) e a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL, 2020). A tabela 1 apresenta um resumo conforme as diretrizes estabelecidas pela ANAC:

**Tabela 1 – Regulamentação da ANAC**

Resumo da Regulamentação da ANAC				
	RPA Classe 1	RPA Classe 2	RPA Classe 3	Aeromodelos
Registro da aeronave?	Sim	Sim	BVLOS: Sim VLOS: Sim	Sim
Aprovação/Autorização do projeto?	Sim	Sim	Apenas BVLOS ou acima de 400 pés	Não
Limite de idade para operação?	Sim	Sim	Sim	Não
Certificado médico?	Sim	Sim	Não	Não
Licença e habilitação?	Sim	Sim	Apenas para op. acima de 400 pés	Apenas para op. acima de 400 pés
Local de operação	A distância da aeronave não tripulada NÃO poderá ser inferior a 30 metros horizontais de pessoas não envolvidas e não anuentes com a operação. O limite de 30 metros não precisa ser observado caso haja uma barreira mecânica suficientemente forte para isolar e proteger as pessoas não envolvidas e não anuentes. Esse limite não é aplicável para operações por órgãos de segurança pública, de polícia, de fiscalização tributária e aduaneira, de combate a vetores de transmissão de doenças, de defesa civil/e ou de corpo de bombeiros, ou operador a serviço de um destes.			

**Fonte:** Adaptado pelos autores (ANAC, 2017)

O cadastro de aeronaves remotamente pilotadas (RPAs) na Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) é obrigatório para todas as unidades com massas situadas entre 250 gramas e 25 quilos. No caso de equipamentos ultrapassando a marca de 25 quilos, é imperativo obter um registro de habilitação para o piloto responsável. Por outro lado, RPAs com peso inferior a 250 gramas estão isentos de qualquer requisito de registro (ANAC, 2017).

A supervisão do acesso ao espaço aéreo e a garantia da segurança na navegação aérea recaem sob a responsabilidade do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). A Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA) 100-40 estabelece a legislação referente ao acesso ao espaço aéreo por aeronaves remotamente pilotadas, ressaltando a necessidade de autorização por meio do sistema SARPAS, administrado pelo DECEA (DECEA, 2020).

No que concerne à homologação e certificação dos dispositivos, a competência recai sobre a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), dada a presença de transmissores de radiofrequência nos controles remotos dos drones (ANATEL, 2020).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral deste trabalho é apresentar uma solução metodológica baseada em cartografia, batimetria, topografia auxiliadas por equipamentos de tecnologias atuais disponíveis no mercado, buscando atender e as exigências para atendimento da Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010 conforme segunda versão do documento orientativo da ANA “Orientações para Atualização das Curvas Cota x Área x Volume”

#### **3.2. OBJETIVO ESPECIFICOS.**

Apresentar e detalhar uma metodologia realizada para um levantamento topobatimétrico onde foram utilizados um drone com Lidar embarcado e um ecobatímetro monofeixe aonde realizado no reservatório de SALTO DE MEIO localizado no município, São José dos Pinhais – PR, visando a atualização e intrageração dos modelos digitais de terreno-MDT das áreas secas molhadas e ao final apresentar a consolidação das informações referentes Cota x Área x Volume (CAV).

#### 4. DIRTRIZES GERAIS

A modernização e atualização das curvas Cota x Área x Volume para do reservatório Salto do meio da UHE Chaminé são de vital importância para garantir a conformidade regulatória, a eficiência operacional e a segurança da usina, além de contribuir para a gestão sustentável dos recursos hídricos da região. A adoção das melhores práticas e a estrita aderência às orientações da ANA assegurarão o sucesso deste empreendimento.

A Resolução Conjunta ANA/ANEEL nº 03/2010 estabelece a obrigatoriedade de atualização das curvas CAV para garantir a segurança operacional e a gestão eficiente dos recursos hídricos em usinas hidrelétricas. O não cumprimento dessas regulamentações pode resultar em sanções e impactos negativos na operação da usina.

Na busca de atender o que se exige no documento orientativo da ANA “Orientações para atualização das Curvas Cota x Área x Volume” no aspecto de levantamentos realizamos este trabalho, exploramos essa abordagem inovadora, que combina a versatilidade dos RPAS com a precisão do LiDAR, e tecnologia do ecobatímetro o avanço dessas tecnologias tem revolucionado a topografia, oferecendo ferramentas mais avançadas e eficazes para coletar, analisar e representar dados topográficos e batimétricos.

#### 5. VANTAGENS COMPETITIVAS

As novas tecnologias aplicadas neste trabalho, tem aplicações amplas, desde a engenharia civil e ambiental até a gestão de recursos naturais e o monitoramento de mudanças geológicas e ambientais. Elas permitem uma abordagem mais precisa, eficiente e versátil para a coleta de informações geoespaciais.

Essas tecnologias tem tido um impacto significativo no campo da topografia, proporcionam uma série de vantagens competitivas para profissionais e empresas que as adotam.

Elas não apenas melhoram a qualidade dos levantamentos, mas também aumentam a **eficiência operacional, expandem as capacidades de acesso a locais**

**complexos, Segurança Ocupacional e Integração e maior precisão dos dados,** garantido uma vantagem competitiva significativa no mercado.

## **6. RELAÇÃO DOS RECURSOS NECESSÁRIOS.**

Todos os equipamentos que foram utilizados nos levantamentos, quando aplicável, foram calibrados, visando preservar a confiabilidade dos resultados.

### EQUIPAMENTOS:

- 01 (um) Laser Scanner marca CHC modelo Alpha Air 450;
- 01 (um) Drone marca DJI modelo Matrice 300;
- 12 (doze) Baterias TB60 para o drone Matrice 300 ;
- 01 (uma) Estação de Recarga B60 para bateria TB60 ;
- 01 (uma) Estação Base GNSS marca DJI modelo DRTK-2;
- 01 (um) Tripé para DRTK-2;
- 01 (um) Drone DJI Mavic 2 Enterprise Zoom;
- 10 (dez) Baterias para Drone Mavic 2 Enterprise Zoom ;
- 01 (um) Hub Mavic 2 Enterprise Zoom ;
- 01 (um) Receptor GNSS Base marca CHC modelo I50;
- 01 (um) Tripé para Bastão;
- 01 (um) Bastão de 2,20m;
- 01 (uma) Licença de Uso do Software UGCS;
- 01 (um) Notebook Processamento de Dados;
- 01 (um) Notebook para Operação de Campo;
- 01 (uma) Licença de Software Co PRE;
- 01 (uma) Licença de Uso do Software Co PROCESS;
- 01 (uma) Licença de Uso do Software RiscanPro;
- 01 (um) embarcação motorizada
- 01 (um) echo sounder modelo D390 (adaptado a embarcação);
- 01 (um) hardlock USB (licença de uso do HydroSurvey Software);
- 01 (um) carro tipo Caminhonete 4x4.
- Materiais com Marcos em concreto, piquetes, tintas e ferramentas necessárias

## EQUIPE ENVOLVIDA

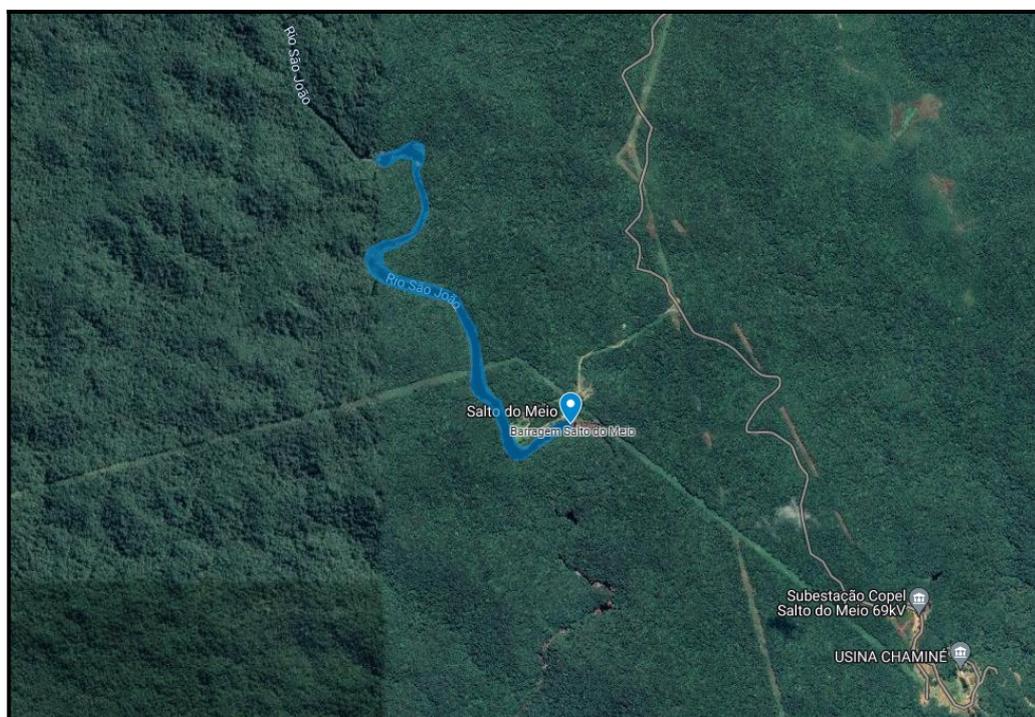
- GEOVÁ ALVES DA COSTA - CREA 210.266.567-4  
Coordenador Geral (Técnico em topografia / engenheiro Civil);
- OTACILIO OTAVIO DE OLIVEIRA NETO - CREA 212.211.347-0  
Técnico de campo (Técnico em topografia / Geógrafo);
- LUCAS MONTEIRO VIGINIO  
Auxiliar de topografia

## 7. INFORMAÇÕES GERAIS DA ÁREA DE ESTUDO.

A Usina Hidrelétrica Chaminé possui capacidade instalada de 18 MW, e está localizada na margem esquerda do rio São João, no município de São José dos Pinhais, em área de preservação permanente na Serra do Mar, a 78 km de Curitiba.

Usina é instalada no reservatório Barragem de Salto do Meio, com função de regulação.

**Figura 1 – Localização do Reservatório Salto do Meio - UHE Chaminé**



Fonte: Google Earth Adaptado (2023)

A seguir são apresentadas as características do reservatório da usina:

- Coordenadas do Barramento:

Latitude 25°48'28.41"S

Longitude 48°59'30.96"O

- Extensão do Reservatório no N.A. Máx. Normal: 2,03 km
- Área inundada no N.A. Máx. Normal: 6,39 ha
- Área de drenagem total até a barragem: 7,52 ha

**Tabela 2 - Informações cotas e altitudes do reservatório**

Salto do Meio - UHE Chaminé						
Nome	Cotas operacionais (m)			altitude (msnm)		
	Nível de água máximo normal	Nível de água máximo maximorum	Cota de Coroamento da barragem	Nível de água máximo normal	Nível de água máximo maximorum	Cota de Coroamento da barragem
Salto do Meio-SME	722,00	724,00	725,00	727,716	729,716	730,716

Fonte: Autoria Própria

## 8. ENQUADRAMENTO DO RESEVÁTÓRIO (POTENCIAL DE SEDIMENTOS X DISPONIBILIDADE DE DOCUMENTAÇÃO CARTOGRÁFICA).

A classificação definida conforme as orientações documento de referência Resolução Conjunta ANEEL/ANA nº 3/2010 "Orientações para atualização das curvas cota x área x volume".

O nível de criticidade de um reservatório, quanto ao seu processo de assoreamento, é estabelecido em função dos seguintes parâmetros ponderados, a saber:

Potencial de Produção de Sedimentos, Posição Relativa na Cascata, Regime de Operação do Empreendimento e, Magnitude e Importância dos Efeitos do Assoreamento. O **Reservatório Salto do Meio - UHE Chaminé** possui um reservatório de alta criticidade (**Classe 01**).

Quanto à cartografia, o empreendimento é enquadrado no **Cenário 01**: Não possui nenhum material cartográfico de Projeto, mapeamento da área seca e batimétrica da área do reservatório.

Desta forma, o reservatório é classificado conforme as orientações da ANA/ANEEL na **tipologia A**. A Tabela 3 apresenta a matriz de classificação de tipologia do reservatório.

**Tabela 3 – Enquadramento do reservatório**

Tipologia dos Reservatórios			
Classe de Criticidade	Cenário Cartográfico		
	1	2	3
Classe 01	A	B	C
Classe 02	A	B1	C
Classe 03	A	B2	C

Fonte: Autoria Própria

## 9. METODOLOGIA DESENVOLVIDA.

### ALGUMAS CONSIDERAÇÕES CARTOGRÁFICAS E BATIMÉTRICAS PRELIMINARES

O material cartográfico que representa os reservatórios será adquirido mediante levantamentos batimétricos de suas áreas submersas e levantamentos geodésicos e aerofotogramétricos de suas áreas expostas (até o nível operacional normal do empreendimento). Esses procedimentos seguem os seguintes aspectos metodológicos.

Os levantamentos batimétricos serão conduzidos exclusivamente por meio de ecobatímetros, com o controle posicional georeferenciado ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), implementado por meio da instalação de uma Rede de Vértices Geodésicos (RVG) utilizando posicionamento em tempo real (RTK). É relevante ressaltar que, para o levantamento da área exposta, deve-se empregar o mesmo referencial altimétrico utilizado no levantamento batimétrico.

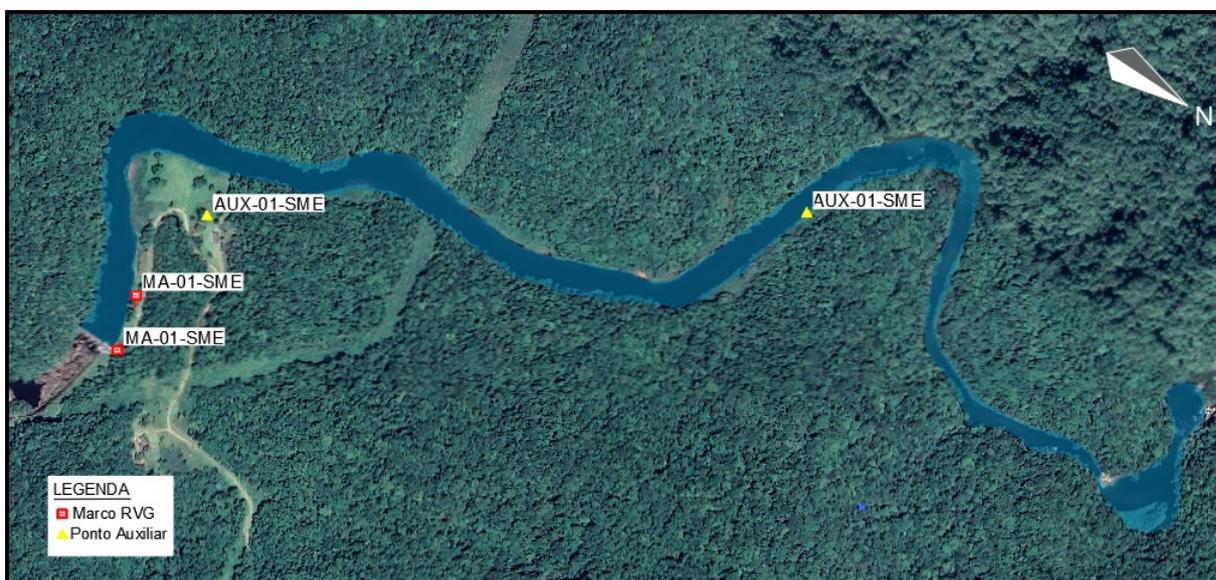
Neste contexto, entende-se o Levantamento Topobatimétrico como a representação planialtimétrica de um reservatório desde sua parte mais profunda até o nível normal operacional. O Modelo Geoidal utilizado deve apresentar uma qualidade posicional superior a 20 cm, sendo necessário elaborar um Modelo Geoidal Local (MGL) nas regiões em que o MapGeo 2010, desenvolvido pelo IBGE, não alcance tal precisão.

O Sistema de Referência Brasileiro atualmente em vigor é o SIRGAS 2000.

## 9.1. ETAPA I - IMPLANTAÇÃO DA REDE DE VÉRTICES GEODÉSICOS

Para o estudo de caso em questão, foi implantado uma rede de vértices geodésicos (RVG) no entorno do reservatório, sendo com 2 marcos de apoio principal e 2 auxiliares distribuídos de modo que seja possível a cobertura total do reservatório Salto do meio da UHE Chaminé, considerando o uso de equipamentos GNSS de processamento em tempo real (RTK), conforme apresentada na Figura 2.

**Figura 2 – Localização dos Marcos e pontos Auxiliares implantados.**



Fonte: Google Earth Adaptado (2023)

**Figura 2 – Equipamentos utilizados no levantamento batimétrico.**

Foto	Equipamento
	<p>01 (um) Receptor GNSS Base marca CHC modelo I50;</p>

Fonte: Aatoria Própria

**Tabela 4 - Informações coordenadas e altitudes dos marcos implantados.**

Salto do Meio - UHE Chaminé					
Nome	n	e	h	Lat	Lon
MA-01-SME	7.144.058,478	701.314,681	730,620	025° 48' 28,2777"S	048° 59' 30,9425"W
MA-02-SME	7.144.046,115	701.254,659	732,261	025°48'28.68894"S	048°59'33.08074"W
AX-01-SME	7.144.051,016	701.124,306	742,690	025°48'28.59431"S	048°59'37.76200"W
AX-02-SME	7.144.611,625	700.700,402	725,886	025°48'10.59081"S	048°59'53.28288"W

Fonte: Autoria Própria

Após a implantação da RVG, foi criado um modelo geoidal local (MGL) para a área do estudada a partir da ondulação geoidal que será calculada através das diferenças entre as altitudes ortométricas (obtidas através de nivelamento geométrico) e elipsoidais (obtidas através do rastreamento dos marcos por equipamentos GNSS).

## 9.2. ETAPA II - MAPEAMENTO DE ÁREA MOLHADA DO RESERVATÓRIO

A execução do levantamento batimétrico foi efetuada por meio de ecobatímetro de feixe único (single beam), o trabalho no corpo principal, braços, afluentes e canais do reservatório deverá ser efetivado por linhas regulares equidistantes, dispostas de forma transversal as curvas isobatimétricas da área. Abrangendo em (100% da área) molhada do reservatório, constituindo uma malha de pontos geodésicamente definidos (latitude e longitude) e com sua respectiva profundidade.

Par a determinação das enquistadas mínimas das linhas transversais seguimos as orientações da Resolução Conjunta ANEEL/ANA nº 3/2010, sobre o levantamento das áreas molhadas do reservatório:

“Para os trabalhos com ecobatímetros de feixe único, em Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH, a equidistância entre as linhas de sondagem (ou seções topobatimétricas), no corpo principal do reservatório, deverá ser obtida pela seguinte fórmula:

$$E_{ST} = \frac{0,1A^{0,25}}{D}$$

as quais:

EST = equidistância das seções topobatimétricas transversais, em quilômetros;

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

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

**Tabela 5 – Dados e resultado dos cálculos equidistância das seções transversinas**

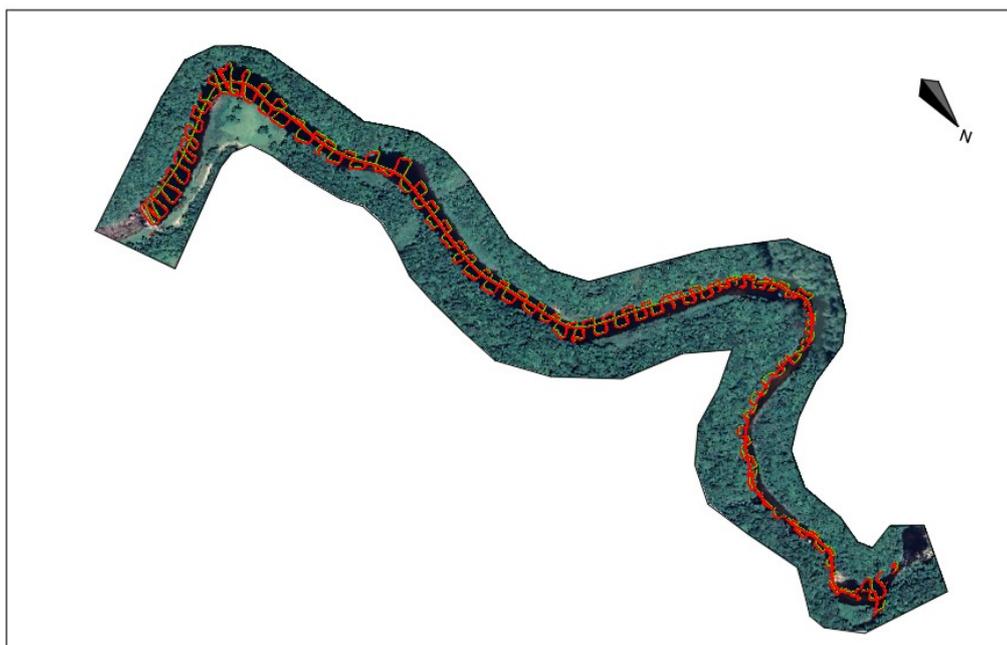
Variável	Quant.	und.
A=	6,39	ha
D=	2,03	km
<b>Est=</b>	<b>0,078</b>	<b>km</b>

Fonte: Autoria Própria

Considerando o cenário cartográfico **Tipo A**, deverão ser executadas 100% linhas de sondagem, com equidistância de 78 metros entre as linhas transversais, porém conforme colocado pelas orientações da ANA/ANEEL, o cálculo para a obtenção da equidistância entre as linhas de batimetria “deve ser flexível às necessidades de adequações que se fizerem necessárias, face às especificidades de cada reservatório.

Portanto, as equidistâncias adotadas foram a cada 20 metros e a quantidade de seções executadas poderá sofrer variações durante a execução dos levantamentos. Foram coletados pontos a cada metro em 231 seções transversais localizadas ao longo corpo principal do reservatório, totalizando 5.908 pontos.

**Figura 3 – Localização se linhas transversais executadas.**



Fonte: Aatoria Própria

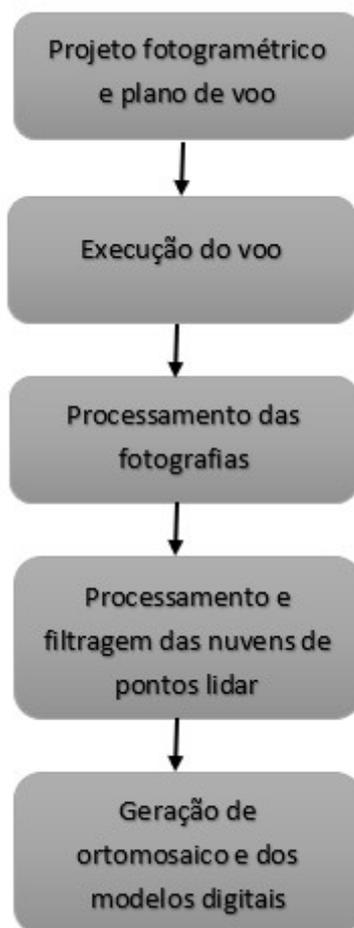
**Figura 4 – Equipamentos utilizados no levantamento batimétrico.**

Foto	Equipamento
	<p>01 (um) echo sounder modelo D390 e 01 (um) Receptor GNSS marca CHC modelo I50; (adaptado a embarcação);</p>

Fonte: Aatoria Própria

### **9.3. ETAPA III - LEVANTAMENTO DE ÁREA SECA DO RESERVATÓRIO.**

Utilizamos para levantamento da seca do reservatório um sensor Alpha Air 450 fabricante CHC acoplado a um RPAs modelo *Matrice 300* do fabricante *DJI*, os procedimentos realizados no desenvolvimento deste trabalho estão esquematizados no fluxograma da Figura 5.

**Figura 5 – Planejamento das atividades.**

**Fonte:** Autoria Própria

O equipamento em questão conta com a tecnologia *LiDAR* Alpha Air 450, um sensor que possibilita a estabilização de um objeto o IMU (Inertial Measurement Unit) de alta precisão e uma câmera RGB de 20 MP com CMOS de 1" em um gimbal estabilizado de 3 eixos, indicado para serviços de acurácia e levantamentos com alta precisão georreferenciados, além de contar com sistema GNSS integrado do tipo RTK, com uma eficiência de até 2km<sup>2</sup> cobertos em apenas um voo.

Diferentemente da fotogrametria, a técnica do Matrice 300 não necessita de luz para executar o serviço, pois o LiDAR é uma ferramenta de amostragem sem RGB que cria um conjunto de dados monocromáticos, onde as fotografias anteriormente feitas vão servir para fazer essa coloração.

**Figura 6 – Equipamentos utilizados no levantamento topográfico.**

Foto	Equipamento
	<p>01 (um) Laser Scanner marca CHC modelo Alpha Air 450; acoplado a 01 (um) Drone marca DJI modelo Matrice 300 ;</p>

Fonte: Autoria Própria

Para tal atividade foi feito um estudo prévio do voo no *software Google Earth*, onde foi possível delimitar a área numa poligonal de aproximadamente 15 hectares, obedecendo o prolongamento da área da formada projeção pela projeção do nível operacional normal do reservatório, mais 1 metro.

Em seguida o arquivo foi exportado para o programa do aeromodelo o *DJI Pilot*, onde é possível projetar no software o plano de voo integrado a partir da poligonal criada, nessa etapa foram definidos todos os parâmetros do voo.

Parâmetros utilizados:

- Altura voo: 90 m
- Sobreposição letaral: 80%
- Sobreposição longitudinal: 75%
- Velocidade: 10m/s

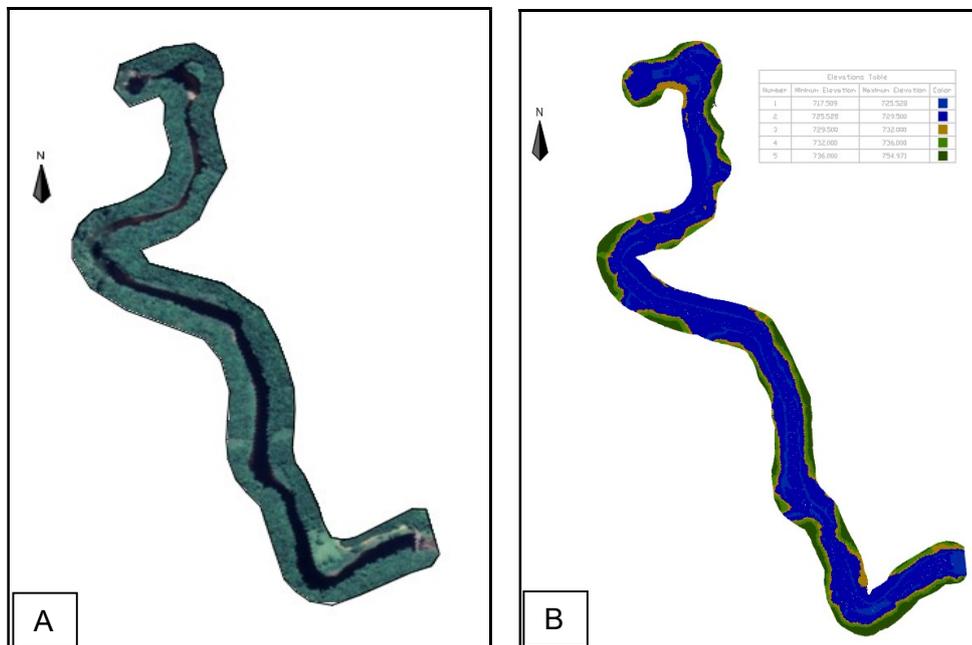
Na execução do voo, e realizado forma totalmente autônoma, e em tempo real, restando o operador acompanhar a coleta de dados, nuvem de pontos e captura de imagens.

Feito isso, os dados são levados ao escritório para o tratamento, momento em que são utilizados os *softwares* DJI Terra (onde é gerado de nuvem de pontos bruta a partir dos pontos gerados pelo Alpha Air 450). As imagens registradas durante o voo servem para colorir a nuvem de pontos e, em seguida, o arquivo é exportado para o LiDAR 360 para ser feita a filtragem da nuvem de pontos gerada, separando o solo,

vegetação, água, e limpando pontos considerados indesejados que possam interferir na visualização de seções e perfis.

Finalizado esse processo, são gerados os seguintes arquivos: Ortomosaico (Figura 7A), MDE (Figura 7B), curvas de níveis em formatos para o CAD; e para softwares que trabalham com nuvem de pontos, como o Recap, Revit e Infraworks todos da Autodesk. Também é possível gerar um arquivo de nuvem de pontos com visualização 3D, georreferenciado e escala real. Já as imagens, podem ser exportadas em vários tipos de formatos, tais com GeoTIF.

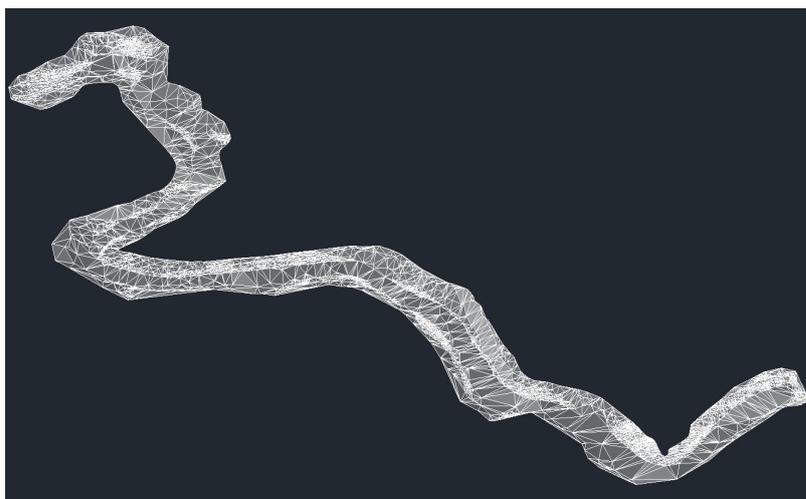
**Figura 7 – Ortomosaico e MDE gerado no LIDAR 360.**



Fonte: Autoria Própria

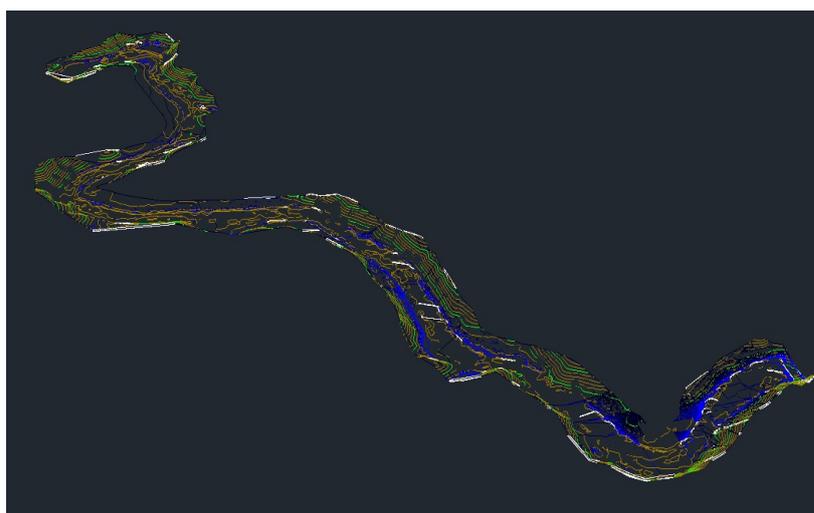
Logo, os nuvem de pontos são exportadas, e se inicia o processo de criação da superfície no software Civil 3D, usando as nuvem de pontos compatibilizados como base para sua triangulação, haja vista que é formada por um conjunto de pontos arbitrários que podem ser chamadas de superfície TIN (Figura 8) A aplicação conecta os pontos da superfície que estão próximos entre si, de forma que a elevação dos pontos da superfície seja definida, por interpolação, a parti da superfície possibilitou criar às as curvas de níveis a cada 50cm (Figura 9), essencial para o cálculos Curvas Cota x Área x Volume, objetivo final desse trabalho.

**Figura 8 – Interpolação de pontos.**



**Fonte:** Autoria Própria

**Figura 9 – Curva de nível e superfície.**



**Fonte:** Autoria Própria

#### **9.4. ETAPA IV - COMPATIBILIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS**

Neste estudo foram coletados dados de nuvem de pontos de dois equipamentos distintos sendo para áreas molhadas a nuvem de pontos oriunda do ecobatímetro, e para os dados de levantamento da parte seca os dados de sensor *Lidar*.

Ambos os dados tiveram sua origem topográfica nos pontos de implantados sejam os marcos de apoio ou nos pontos auxiliares, contudo houve a exclusão dos pontos

da nuvem do LiDAR quando havia alguma sobreposição com a nuvem do ecobatímetro (da parte molhada).

Assim representando uma superfície fidedigna que existe no local.

Quanto classificação da precisão na pesquisa de Xavier (2020), expõe-se tabela com a classificação da precisão de acordo com o erro encontrado como pode ser observado na Tabela 6.

**Tabela 6 – Classificação da precisão de acordo com o erro encontrado.**

<b>Nível DOP</b>	<b>Qualidade</b>	<b>Descrição</b>
< 1	Ideal	Máxima precisão possível
1 a 2	Excelente	Medições precisas
2 a 5	Bom	Medições com precisão adequada
5 a 10	Moderado	Qualidade moderada
10 a 20	Fraco	Nível de confiança baixa
> 20	Ruim	Precisão muito baixa

**Fonte:** Xavier (2020)

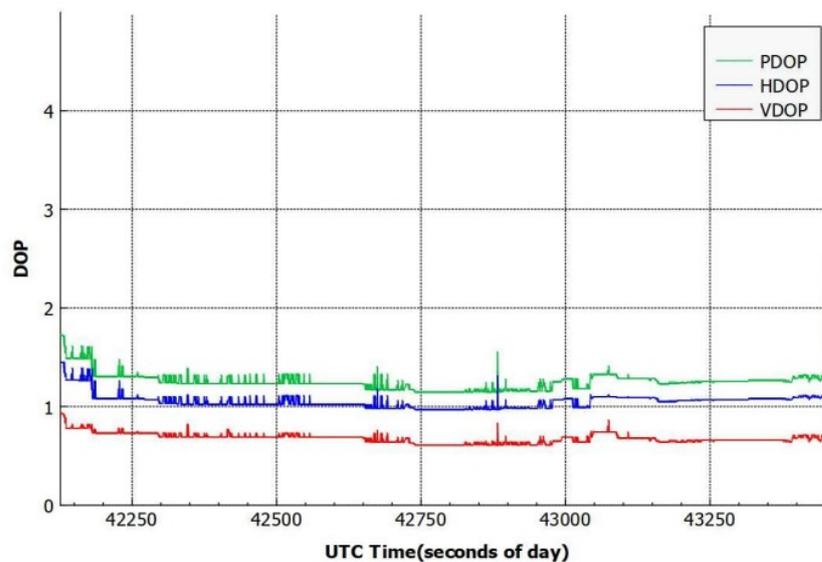
Com base nisso, os valores encontrados por esse estudo estão enquadrados em “Excelente” já que apresentaram valor do DOP menor que 1 a 2. (Tabela 7) e (gráfico 01).

Tabela 7 –DOP.

Route	PDOP(AVG)	PDOP(MAX)	HDOP(AVG)	HDOP(MAX)	VDOP(AVG)	VDOP(MAX)
1	1.308	1.477	1.083	1.260	0.732	0.780
2	1.262	1.388	1.048	1.120	0.704	0.820
3	1.240	1.320	1.028	1.100	0.694	0.730
4	1.241	1.329	1.029	1.110	0.695	0.730
5	1.235	1.329	1.023	1.110	0.692	0.730
6	1.290	1.329	1.074	1.110	0.714	0.730
7	1.235	1.329	1.023	1.110	0.692	0.730
8	1.231	1.231	1.020	1.020	0.690	0.690
9	1.231	1.231	1.020	1.020	0.690	0.690
10	1.202	1.231	1.003	1.020	0.664	0.690
11	1.198	1.226	1.000	1.020	0.660	0.680
12	1.170	1.170	0.980	0.980	0.640	0.640
13	1.190	1.329	0.996	1.110	0.652	0.730
14	1.186	1.265	0.993	1.060	0.649	0.690
15	1.150	1.173	0.973	0.990	0.613	0.630
16	1.146	1.146	0.970	0.970	0.610	0.610
17	1.159	1.243	0.979	1.060	0.619	0.650
18	1.166	1.279	0.985	1.070	0.624	0.700
19	1.183	1.279	1.005	1.070	0.625	0.700
20	1.251	1.282	1.058	1.080	0.666	0.690
21	1.312	1.412	1.097	1.120	0.720	0.860
22	1.260	1.285	1.072	1.090	0.660	0.680
23	1.239	1.249	1.058	1.060	0.645	0.660
24	1.246	1.257	1.063	1.070	0.649	0.660
25	1.256	1.257	1.070	1.070	0.660	0.660
26	1.262	1.266	1.075	1.080	0.660	0.660
27	1.264	1.309	1.078	1.100	0.658	0.710

Fonte: Relatório de Análise de Qualidade

Gráfico 1 – DOP.



Fonte: Relatório de Análise de Qualidade

## 10. RESULTADOS FINAIS.

Para calcular os cálculos de Curvas Cota x Área x Volume de armazenamento do reservatório, a partir do MDE (Modelo Digital de Elevação) gerado no *software* auto CAD Civil 3D.

Através de da ferramenta *StageStorage*, no Civil 3D foi possível calcular e gerar relatório com os dados de cotas, área e volumes necessários a partir das curvas de níveis partindo da cota mínima até o nível normal do reservatório.

A curva Cota x Volume é o resultado da integração da curva Cota x Área. Esta integração é realizada numericamente, determinando-se as variações de volume,  $\Delta\text{Vol}$ , entre duas curvas de nível consecutivas. Este volume é obtido, média das áreas correspondentes às curvas de nível ou pelo método de aproximação cônica. A tabela a seguir possui os dos métodos.

**Tabela 8 – Planilha de curvas de cotas x áreas x volumes.**

COTAS X ÁREAS X VOLUMES E RESERVATÓRIO SALTO DO MEIO-SME UHE- CHAMINÉ								
COTA (m)	INTERVALO (m)	ÁREA(m <sup>2</sup> )	ÁREA ACUMULADA (m <sup>2</sup> )	MÉDIA DAS ÁREAS (m <sup>2</sup> )	MÉDIA DAS ÁREAS		APROXIMAÇÃO CÔNICA	
					INCREMENTO DE VOLUME (m <sup>3</sup> )	VOLUME ACUMULADO (m <sup>3</sup> )	INCREMENTO DE VOLUME (m <sup>3</sup> )	VOLUME ACUMULADO (m <sup>3</sup> )
718,00	N/A	57,30	57,30	N/A	N/A	0,00	N/A	0,00
718,50	0,50	158,60	215,90	107,95	53,98	53,98	51,87	51,87
719,00	0,50	271,29	487,19	214,95	107,47	161,45	106,22	158,09
719,50	0,50	347,69	834,88	309,49	154,74	316,19	154,35	312,44
720,00	0,50	399,23	1.234,11	373,46	186,73	502,92	186,58	499,02
720,50	0,50	447,35	1.681,46	423,29	211,65	714,57	211,53	710,55
721,00	0,50	498,90	2.180,36	473,13	236,56	951,13	236,45	947,00
721,50	0,50	601,79	2.782,15	550,35	275,17	1.226,30	274,77	1.221,77
722,00	0,50	655,33	3.437,48	628,56	314,28	1.540,58	314,19	1.535,96
722,50	0,50	707,02	4.144,50	681,18	340,59	1.881,17	340,50	1.876,46
723,00	0,50	762,76	4.907,26	734,89	367,44	2.248,61	367,36	2.243,82
723,50	0,50	1,50	4.908,76	382,13	191,06	2.439,68	133,01	2.376,83
724,00	0,50	168,61	5.077,37	85,06	244,29	2.683,96	224,40	2.601,22
724,50	0,50	0,00	5.077,37	84,31	216,32	2.900,28	144,28	2.745,50
725,00	0,50	0,00	5.077,37	0,00	235,03	3.135,31	156,75	2.902,25
725,50	0,50	3,14	5.080,51	1,57	0,78	3.136,09	0,52	2.902,78
726,00	0,50	0,07	5.080,58	1,61	126,65	3.262,74	85,45	2.988,23
726,50	0,50	6,19	5.086,77	3,13	84,21	3.346,95	63,67	3.051,91
727,00	0,50	125,16	5.211,93	65,68	31,31	3.378,26	21,41	3.073,31
727,50	0,50	23,77	5.235,70	74,47	189,03	3.567,29	148,01	3.221,32
727,71*	0,50	0,13	5.235,83	11,95	6.617,75	10.185,04	4.421,61	7.642,93

\*Nível de água máximo normal = 727,50

Fonte: Autoria Própria

## 11. CONCLUSÃO.

Dentre as vantagens apontadas no estudo sobre a topografia com RPAs é a possibilidade de sua realização de forma remota, sem precisar sair do local e percorrer o terreno para captura dos dados (DRONENG, 2020).

As descrições supracitadas mostram que existem vantagens e desvantagens para o uso dos equipamentos e técnicas utilizados, e que quando são utilizadas forma correta podem aumentar sua eficiência de modo geral.

No serviço reportado a combinação dos métodos permitiu a complementação e compatibilização dos dados obtidos com os dois tipos de levantamento, possibilitando obter resultados são consistentes para o objetivo final deste estudo.

Portanto, fica visível que elas se complementam, cabe ao responsável técnico avaliar o projeto com base no objetivo proposto e no que serão aplicadas, podendo utilizar de ambas no mesmo serviço (SOUZA et al., 2020).

Após a realização do estudo sobre o emprego de RPAs e em conjunto com o GNSS RTK e ecobatímetro no mapeamento do reservatório Salto do Meio, pôde-se constatar que a metodologia utilizada atende satisfatoriamente ao que é exigido pela orientações da Resolução Conjunta ANEEL/ANA nº 3/2010 e comprovando a viabilidade técnico na realização do projeto de levantamento topobatimétrico para cálculos de cotas x áreas x volumes e reservatórios utilizando rpas com sensor lidar embarcado e ecobatímetro monofeixe.

## 11. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Regulamento Brasileiro da aviação Civil Especial (RBAC-E nº94)**. Brasília, DF: 2017. Disponível em : <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94> Acesso em: 26 de setembro de 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL). **Saiba como funciona o processo de homologação de drones. Brasil**, 2020. Disponível em : <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/saiba-como-funciona-o-processo-de-homologacao>. Acesso em: 27 de setembro de 2020.

BORGES, Rodrigo Cella & SILVA, Sávio Torres da. **Usos de Drones em Estudos Ambientais**. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande/MS: 2018-2. [On Line]. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Savio\\_Torres\\_Da\\_Silva/publication/330834388\\_USOS\\_DE\\_DRONES\\_EM\\_ESTUDOS\\_AMBIENTAIS/links/5c561a4892851c22a3a4b516/USOS-DE-DRONES-EM-ESTUDOS-AMBIENTAIS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Savio_Torres_Da_Silva/publication/330834388_USOS_DE_DRONES_EM_ESTUDOS_AMBIENTAIS/links/5c561a4892851c22a3a4b516/USOS-DE-DRONES-EM-ESTUDOS-AMBIENTAIS.pdf) origin=profileFeaturedResearchPublicationItem Acesso em 09 de setembro de 2020.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). **Aeronaves não tripuladas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro** (ICA 100-40). Brasil, 2020. Disponível em: <https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=5250> Acesso em: 26 de setembro de 2023.

ANA (Agência Nacional de Águas). **Orientações para atualização das curvas cota x área x volume**. Brasília: Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica, 2013.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Comunicação Pessoal. 2003. Disponível em: . Acesso em: 20 out. 2020.

AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DO CÁLCULO DE VOLUME DE PILHAS DE REJEITO UTILIZANDO VANT, GNSS e LiDAR. Boletim de Ciências Geodésicas, 22(1), 73-94, (2016).

AUTODESK HELP. Sobre a criação de uma superfície TIN - Suporte e aprendizado [documento eletrônico]. **Knowledge Networks**, Civil 3D, 2018. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/ptbr/support/civil3d/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/PTB/Civil3D-UserGuide/files/GUID-D0FCED34-D68F-42D2-A6FB-14C454CA57FA-htm.html>. Acesso em: 04 jan. 2023.

BASTOS, Bruno da Cunha; ERCOLIN FILHO, Leonardo. **Utilização da tecnologia LiDAR em projetos de engenharia de infraestrutura viária**. In:, Córdoba. XI Congreso Nacional y VIII Latino-Americano de Agrimensura, 2012.

DRONENG. **3 motivos para utilizar drones na Topografia**. Blog DRONENG, 2020. Disponível em: <https://blog.droneng.com.br/3-motivos-para-utilizar-drones-na-topografia/>. Acesso em: 25 dez. 2022.

MAPPA, Processamentos de imagem de drones. MDT e MDS: o que é e qual a diferença? Blog MAPPA Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://mappa.ag/blog/modelos-digitais-de-terreno-e-superficie-mdt-e-mds/>. Acesso em: 10 Dez 2022.

Pix4D, **Training** 2013. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/uav.pix4d.com/examples/training/Pix4D+training.pdf>. Acesso em 13 Ago 2022.

SOUZA, D. J. S.; CAMPOS, J. T.; MORAIS, J.; MARTELLA, K.; PAMBOUKIAN, S. V. D. **Levantamentos topográficos utilizando drones e GNSS**. 2020. Disponível em: [https://www.mackenzie.br/fileadmin/ARQUIVOS/Public/1-mackenzie/universidade/laboratorios/labgeo/2021/ARTIGO\\_-LEVANTAMENTOS\\_TOPOGR%C3%81FICOS\\_UTILIZANDO\\_DRONES\\_E\\_GNSS.pdf](https://www.mackenzie.br/fileadmin/ARQUIVOS/Public/1-mackenzie/universidade/laboratorios/labgeo/2021/ARTIGO_-LEVANTAMENTOS_TOPOGR%C3%81FICOS_UTILIZANDO_DRONES_E_GNSS.pdf). Acesso em: 21 dez. 2022.

XAVIER, Brayan Sedlacek. **Topografia: levantamento convencional x aerofotogrametria**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Ensinar Brasil, Faculdade Doctum de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2020.

FRANCO, Tarcísio Petter Luiz. **Uso do Sistema LiDAR na geração de MDT e avaliação segundo Padrões de exatidão cartográfica**. Monografia (Especialização

em Geoprocessamento), Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Departamento de Cartografia. Belo Horizonte, 2006.