

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Desenvolvimento Tecnológico
Curso de Graduação em Engenharia Hídrica



Trabalho de Conclusão de Curso

**Acoplamento de técnicas de batimetria e aerofotogrametria para determinação
do volume útil e área alagada da barragem do Arroio Chasqueiro – RS**

Leandra Martins Bressan

Pelotas, 2021

Leandra Martins Bressan

Acoplamento de técnicas de batimetria e aerofotogrametria para determinação do volume útil e área alagada da barragem do Arroio Chasqueiro – RS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Hídrica, do Centro de Desenvolvimento Tecnológico da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Hídrica.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Loguercio Collares
Coorientador: Msc. George Marino Soares Gonçalves

Pelotas, 2021

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

B843a Bressan, Leandra Martins

Acoplamento de técnicas de batimetria e aerofotogrametria para determinação do volume útil e área alagada da barragem do Arroio Chasqueiro - RS / Leandra Martins Bressan ; Gilberto Loguercio Collares, orientador ; George Marino Gonçalves Soares, coorientador. — Pelotas, 2021.

66 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Hídrica) — Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2021.

1. Batimetria. 2. Aerolevanteamento. 3. Cota x área x volume. 4. Rpas. I. Collares, Gilberto Loguercio, orient. II. Soares, George Marino Gonçalves, coorient. III. Título.

CDD : 628

Leandra Martins Bressan

Acoplamento de técnicas de batimetria e aerofotogrametria para determinação do volume útil e área alagada da barragem do Arroio Chasqueiro – RS

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado, como requisito parcial, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Hídrica, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 23/11/2021

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Gilberto Loguercio Collares (orientador)

Doutor em Ciência do Solo pela Universidade de Santa Maria -UFSM

Prof. Dr. Alexandre Felipe Bruch

Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Prof. Msc. Guilherme Kruger Bartels

Mestre em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pelotas - UFPel

Dedico este trabalho à minha mãe, vó, dindo, pai, madrasta e irmãos.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por todas as oportunidades concedidas.

A minha mãe, minha vó e meu dindo por todo o apoio, afeto, suporte, incentivos e também pela compreensão nos momentos que estive ausente.

Ao meu pai, madrasta e irmãos que mesmo longe fisicamente, sempre se mantiveram por perto em palavras de apoio e carinho.

A todos meus familiares em Pelotas por todo suporte a apoio.

Ao meu orientador Gilberto Loguercio Collares, por todas oportunidades que me concedeu ao longo da graduação, na qual sou muito grata e também ao coorientador George Marino Gonçalves pelo apoio nessa jornada.

Ao grupo Hidrosedi, professores, bolsistas e amigos, pela amizade e auxílio sempre, na qual considero como família. Em especial aos colegas Guilherme Kruger Bartels e Lukas dos Santos Boeira, por toda ajuda concedida nos projetos ou atividades.

Ao grupo PET Engenharia Hídrica, no qual me proporcionou momentos especiais e ensinamentos.

Aos professores da Engenharia Hídrica, por todo conhecimento e experiências nessa trajetória. Em especial, as professoras Viviane Terra e Idel Milani, pelo apoio e palavra amiga em diversos momentos.

Aos meus colegas da graduação, no qual compartilhei grande parte do tempo nos últimos anos, pela amizade construída, pelo incentivo diário, pelas alegrias e momentos que jamais vou esquecer, em especial a Ana Carolina, Gabriela, Paula, Matheus, Rafael e Eduardo.

A minha dupla Victória, pela amizade, parceria e apoio nesses últimos semestres.

As minhas amigas Mayra, Gabrielli, Mayara, Rafaella e Yohana por todo carinho e incentivo sempre nesses anos.

A todos aqueles que contribuíram para realização desse trabalho e para minha formação.

Obrigada.

“O rio atinge seus objetivos porque aprendeu a contornar obstáculos”.

Lao-Tsé

Resumo

BRESSAN, Leandra Martins. **Acoplamento de técnicas de batimetria e aerofotogrametria para determinação do volume útil e área alagada da barragem do Arroio Chasqueiro – RS.** Orientador: Gilberto Loguercio Collares. 2021. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Hídrica) – Curso de Graduação em Engenharia Hídrica, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.

Os reservatórios têm como finalidade o armazenamento de água para usos futuros, porém ao longo dos anos ocorre o processo de sedimentação e, com isso, a possível redução do volume útil. Essa redução pode gerar impactos econômicos negativos, portanto, o monitoramento sobre a evolução do volume de armazenamento de água e respectivas taxas de sedimentação devem ser avaliadas periodicamente para gestão do reservatório. Uma ferramenta, empregada para o monitoramento contínuo, são as curvas cota x área x volume (CAV). Técnicas de batimetria, atreladas a aerofotogrametria se mostram eficientes para a atualização da CAV. O presente estudo teve por objetivo avaliar e comparar os resultados obtidos a partir da aplicação das técnicas de batimetria e aerofotogrametria, na estimativa do volume útil e a respectiva área alagada do reservatório do Chasqueiro. O trabalho foi realizado no lago do reservatório da barragem do Arroio Chasqueiro, localizado no município de Arroio Grande/RS, inserido na bacia hidrográfica do Arroio Chasqueiro (BAC), tendo com principais afluentes o arroio Chasqueiro e Chasqueirinho. O levantamento batimétrico foi realizado no ano de 2018, com ecobatímetro monofeixe, resultando uma malha amostral de dados com informações de latitude, longitude e profundidade. Um levantamento aerofotogramétrico foi realizado em 2021, gerando mapas das áreas secas do reservatório, empregando um sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAS). Para o desenvolvimento desse estudo foram resgatados os valores do volume e área, referente a época de construção da barragem, 1976 (ALM, 2021). Deste modo, foram analisados os dados obtidos pelo levantamento batimétrico, aerofotogramétrico e do período de construção da barragem. Como resultados, encontrou-se diferença de volume útil de ordem $26.637.557\text{m}^3$ entre 1976 e 2021, representando uma redução de cerca de 21,02% de volume de água e uma perda de 183,50 hectares de área alagada. Tal perda pode estar associada a questão da sedimentação do reservatório em função dos processos erosivos na bacia de contribuição e seus tributários, ao longo dos anos.

Palavras-chave: Batimetria. Aerolevanteamento. Cota x Área x Volume. RPAS.

Abstract

BRESSAN, Leandra Martins. **Coupling of bathymetry and aerophotogrammetry techniques to determine the useful volume and flooded area of the dam Arroyo Chasqueiro – RS.** Advisor: Gilberto Loguercio Collares. 2021. 65 f. Coursework (Undergraduate Course in Water Resources Engineering), Center of Technological Development, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2021.

The reservoirs are intended to store water for future uses, but over the years the sedimentation process occurs and, with this, the possible reduction of the useful volume. This reduction can generate economic negative impacts, therefore, monitoring the evolution of water storage volume and respective sedimentation rates should be evaluated periodically for a better reservoir management. A used tool for continuous monitoring is the height x area x volume rating (CAV). Bathymetry techniques coupled with aerophotogrammetry techniques are shown to be efficient for updating the CAV. The present study aimed to evaluate and compare the results obtained from the application of the bathymetry and aerophotogrammetry techniques to estimate the useful volume and the respective flooded area of the Chasqueiro Creek Dam. This work was carried out in the lake of the Chasqueiro Creek Dam, located in the municipality of Arroio Grande/RS, inserted into the Chasqueiro Creek watershed (BAC), being the main tributaries the creeks Chasqueiro and Chasqueirinho. The bathymetric survey was performed in 2018, with a monobeam echosounder that resulted in a sample mesh of data with latitude, longitude and depth information. An aerophotogrammetric survey was carried out in 2021, generating maps of the dry areas of the reservoir, employing a remotely-piloted aircraft system (RPAS). For the development of this study, it was considered too the original CAV from 1976, during the construction of the reservoir (ALM, 2021). Thus, the data obtained from the bathymetric survey, aerophotogrammetric survey and period of construction of the dam were analyzed and compared between. As a result, a useful volume difference of 26,637,557m³ was found between 1976 and 2021, representing a reduction of about 21.02% in water volume and a loss of 183.50 hectares of flooded area. Such loss may be associated with the question of sedimentation of the reservoir as a function of erosive processes in the contributing basin and its tributaries over the years.

Keywords: Bathymetry. Aersurvey. Elevation x Área x Volume. RPAS.

Lista de Figuras

Figura 1	Funcionamento do ecobatímetro multifeixe demonstrando o (swath)..	19
Figura 2	Ilustração do funcionamento de um ecobatímetro monofeixe.....	20
Figura 3	Parâmetros do semivariograma.....	22
Figura 4	Ilustração mapeamento com RPAS.....	23
Figura 5	Vista aérea do reservatório da barragem do Chasqueiro.....	26
Figura 6	Vista superior das obras hidráulicas da barragem do Chasqueiro.....	27
Figura 7	Localização da Barragem do Arroio Chasqueiro.....	29
Figura 8	Princípio utilizado para medição da profundidade através da emissão e recepção de sons em direção ao leito do curso d'água.....	29
Figura 9	Conjunto dos equipamentos utilizados para levantamento batimétrico.....	30
Figura 10	Malha batimétrica amostrada no reservatório da Barragem do Arroio Chasqueiro.....	31
Figura 11	(A) Delimitação do polígono do reservatório e (B) Representação dos pontos de delimitação das margens reservatório em estudo.....	33
Figura 12	(A) Equipamento utilizado para levantamento dos pontos de controle e (B) alvo foto-identificável instalado.....	35
Figura 13	Localização dos pontos de controle e checagem no entorno do reservatório.....	36
Figura 14	(A) Modelo RPAS Zangão – V e (B) Base monitoramento de voo.	37
Figura 15	Polígonos planejados para os voos.....	38
Figura 16	Fluxograma processamentos dos dados obtidos com o RPAS.....	39
Figura 17	Validação Cruzada mostrando, numa reta de regressão linear (Medido x Previsto).....	42
Figura 18	MDE da área molhada do reservatório.....	43
Figura 19	Relação CAV até a cota 37,5m da área molhada do reservatório.....	45
Figura 20	MDE área seca do reservatório.....	46
Figura 21	Curvas de nível área seca da cota 37,5 à 42 metros.....	47
Figura 22	Relação CAV de 2021 do reservatório da barragem.....	49
Figura 23	Relação cota e volume dos anos de 2018 e 2021.....	50
Figura 24	Relação CAV de 1976 do reservatório da barragem.....	51

Lista de Tabelas

Tabela 1	Valores de leituras de profundidade para aferição da ecossonda..	31
Tabela 2	Coordenadas geográficas dos pontos no entorno do reservatório..	35
Tabela 3	Informações de erro na estimativa dos eixos x, y, z e xy em escala de centímetros (cm).....	40
Tabela 4	Cota e profundidade máxima, mínima e média das campanhas batimétricas.....	43
Tabela 5	Cubagem da área molhada do reservatório até cota 37,5m.....	44
Tabela 6	Cubagem 2021 do reservatório da barragem do Chasqueiro.....	48
Tabela 7	Diferença de volumes de 2018 a 2021 no intervalo de cotas de interesse.....	50
Tabela 8	Cubagem do reservatório no ano de 1976.....	53

Sumário

1 Introdução	13
2 Objetivo	15
2.1 Objetivo geral.....	15
2.2 Objetivo específico.....	15
2.3 Hipóteses.....	15
3 Revisão de literatura	16
3.1 Reservatório.....	16
3.2 Cota x área x volume.....	17
3.3 Batimetria.....	18
3.4 Ecosonda multifeixe.....	19
3.5 Ecosonda monofeixe.....	20
3.6 Geoestatística.....	21
3.7 Krigagem ordinária.....	21
3.8 Aerofotogrametria.....	22
3.9 Sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAS).....	23
3.10 Mosaico ortofoto.....	24
3.11 Modelo digital de elevação (MDE) e Modelo digital de terreno (MDT).....	25
3.12 Contextualização barragem em estudo.....	25
4 Material e métodos	27
4.1 Local de estudo e caracterização da bacia hidrográfica.....	27
4.2 Batimetria área molhada.....	28
4.2.2 Ecosonda monofeixe.....	28
4.2.3 Obtenção da malha de pontos.....	30
4.2.4 Aferição da sonda.....	31
4.2.5 Redução da cota para referência.....	32
4.2.6 Delimitação do lago.....	32
4.2.7 Interpolação.....	33
4.2.8 Cubagem do reservatório.....	33
4.3 Aerolevanteamento.....	34

4.3.1 Pontos de controle.....	34
4.3.2 Sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAS).....	36
4.3.3 Planejamento e execução dos voos.....	37
4.3.4 Processamento e filtragem MDS para MDT.....	38
5 Resultados e discussão.....	41
5.1 Batimetria.....	41
5.1.1 Malha amostral.....	40
5.1.2 Interpolação dos dados.....	42
5.1.3 MDE área molhada.....	43
5.1.4 Cubagem área interpolada.....	43
5.2 Aerofotogrametria.....	45
5.2.1 MDE área seca.....	45
5.3 RPAS x monofeixe.....	47
5.3.1 Cubagem de 2021 do reservatório.....	47
5.3.2 Cubagem de 1976 do reservatório.....	51
6 Considerações finais.....	54
Sugestões.....	55
Referências.....	56
Apêndices.....	62
Anexos.....	64

Introdução

A importância dos recursos hídricos para a manutenção da vida e o potencial uso destes recursos nas mais diversas aplicações, faz com que a humanidade busque desenvolver técnicas que potencialize parcialmente o ciclo hidrológico a seu favor, na tentativa de controlar perdas e permitir disponibilidade da água para distintos usos.

Por essa demanda, surgiram estratégias para reservação de água, construindo estruturas formadas por um barramento artificial de um curso d'água com a finalidade de armazenar água para usos futuros, tais como abastecimento de água, controle de inundações, geração de energia e irrigação. Além disso, funcionam como grandes bacias de retenção de sedimentos, uma vez que há intensificação da deposição de material sólido devido à diminuição da energia do fluxo da água (LOPES *et al.*, 2002).

Para Carvalho (2008) com a deposição contínua das partículas no reservatório, inicia-se um assoreamento indesejável do reservatório, assim reduzindo sua vida útil e pode vir a impedir a operação do mesmo. A redução do volume útil de um reservatório altera a vazão regularizada e o atendimento de outros usos consuntivos ou não consuntivos da água, gerando impactos econômicos negativos para o desenvolvimento humano e social.

Com a necessidade de preservação de água, se faz necessário instituir gestão e monitoramento contínuo desse recurso, tanto em quantidade como qualitativamente. As curvas denominadas cota x área x volume (CAV) são uma das principais ferramentas para monitoramento e gestão de reservatórios hídricos e fornecem o volume e a área de um reservatório em função do nível d'água no momento de medição (SÁ, 2018).

Os levantamentos batimétricos em reservatórios têm como objetivo atualizar estimativas de volume através das curvas CAV e servir como base de dados para projeções futuras da capacidade de armazenamento de água e taxa de sedimentação (WILSON *et al.*, 1997). Os levantamentos são realizados por meio da batimetria, onde as profundidades dos reservatórios são aferidas por meio de sonares batimétricos, denominados ecobatímetros, os quais emitem pulsos acústicos que são refletidos quando atingem o leito do reservatório. Para Collischonn e Clarke (2016) se caso o reservatório encontra-se em período de estiagem no momento da batimetria, o volume adicional acima do nível d'água pode ser estimado por aerofotogrametria.

Para Venturini (2015) a aerofotogrametria compreende a obtenção de imagens através de fotografias da superfície terrestre, adquiridas por uma câmera de precisão com o eixo óptico do sistema de lentes mais próximo da vertical e acoplada a um Sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAS). A grande vantagem desta ferramenta é a facilidade de se obter dados de alta resolução espacial e temporal, ou seja, com alta precisão a um baixo custo, quando comparados a outros métodos (KOMAZAKI *et al.*, 2017).

Sendo assim, a partir dos levantamentos batimétricos tradicionais acoplado com técnicas de levantamento aerofotogramétrico, são aplicados para descrever as características da forma do reservatório em estudo. Tal estudo, permitirá a avaliação da capacidade atual de armazenamento da estrutura, sendo informação relevante para apoiar a gestão dos recursos hídricos e trazer segurança hídrica para o município e região.

Objetivos

Geral

Avaliar a evolução do volume e área alagada do reservatório da Barragem do Arroio Chasqueiro, situado no município de Arroio Grande-RS, a partir da aplicação das técnicas de batimetria e aerofotogrametria, mapeando feições e formas do relevo e leito submerso.

Específicos

- i) Realizar um levantamento batimétrico da área molhada do reservatório;
- ii) Realizar um levantamento aerofotogramétrico das áreas secas do reservatório;
- iii) Estimar o volume de armazenamento do reservatório a partir das duas técnicas;
- iv) Realizar análise temporal das relações de cota x área x volume para o reservatório;

2.3 Hipóteses

O levantamento aerofotogramétrico quando associado a técnicas de batimetria, podem diminuir as incertezas na estimativa de volume útil e respectiva área alagada de um reservatório.

3. Revisão de Literatura

A revisão bibliográfica do presente trabalho é estruturada em quatro itens principais, sendo eles: reservatórios, batimetria, geoestatística e aerolevantamentos e os demais tópicos, onde serão abordados conceitos fundamentais para o entendimento necessário para realização das análises e discussões que se sucedem no trabalho.

3.1 Reservatório

Os reservatórios hídricos possuem uma importância significativa, sua construção apresenta usos múltiplos, com finalidades de geração de energia, navegação, irrigação e acumulação das águas disponíveis nos períodos chuvosos para compensar as deficiências nos períodos de estiagem, exercendo um papel de regularização de vazões naturais.

Para Ferrari (2006), a capacidade de um reservatório é determinante e crítica na definição e utilização de sua água, porém, problemas com assoreamento reduzem a eficácia e o tempo de vida em seu funcionamento. Com isso, estudos relacionados a reservatórios e sua manutenção, assim como estimativas de volume e perda de capacidade por assoreamento vem se tornando cada vez mais essenciais.

Toda gestão e políticas de operação de um reservatório são feitas baseadas em dados de volume do mesmo, geralmente os dados utilizados são os de projeto inicial, fornecidos por levantamento topográfico anterior ao enchimento do reservatório (ESTIGONI *et al.*, 2009). Sendo assim, de acordo com Estigoni *et al.*, (2009) o levantamento prévio ao enchimento do reservatório não condiz mais com a atualidade e quanto maior a idade do mesmo, menor será a fidelidade do dado pré-enchimento com a condição real, podendo vir a gerar problemas de gestão.

A revisão e atualização desses dados podem ser executadas através de estudos batimétricos ou aerofotogramétricos, nos quais consistem no mapeamento do relevo de fundo do reservatório e margens. Além desses dados fornecerem o volume atual que o reservatório pode armazenar, quando trabalhados em conjuntos com dados anteriores ao enchimento, ou com batimetrias anteriores, fornecem também, os dados quantitativos do assoreamento e também a previsão do tempo de vida útil do

reservatório (ESTIGONI *et al.*, 2009). Estudos dessa natureza ao longo do tempo se tornam importantes para a gestão de recursos hídricos, principalmente para finalidades como irrigação, que é o caso do reservatório em estudo.

3.2 Cota x Área x Volume

Em 2016, o Brasil possuía cerca de 20 mil reservatórios artificiais de acordo com o relatório pleno de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil de 2017, publicado pela Agência Nacional de Águas (ANA).

Esses reservatórios quando construídos passam de ambientes lóticos para ambientes lênticos, onde o curso d'água que chega ao reservatório perde energia cinética e ganha potencial, assim diminuindo sua velocidade gradualmente (MATOS, 2012). Conforme diminui a velocidade, os sedimentos em suspensão que antes transportados vão sendo depositados no leito do corpo hídrico, atuando como verdadeiros filtros de sedimentos e dando início ao processo de assoreamento ao longo do tempo e reduzindo seu volume, com isso se faz necessário que ocorra atualização da curva Cota x Área x Volume, sendo realizada convencionalmente por meio de levantamentos batimétricos.

Em agosto de 2010, a Agência Nacional de Águas publicou a resolução conjunta ANEEL/ANA nº03, na qual versa sobre a obrigatoriedade de avaliação do processo de assoreamento dos reservatórios, com base na atualização das curvas CAV (FRANÇA, 2019). E em outubro de 2011, foi publicado o texto "Orientações para a atualização das Curvas Cota - Área - Volume" para ser aplicado em empreendimentos com finalidade de aproveitamos hidrelétricos, nessas orientações constava a metodologia e diretrizes que deveriam ser empregadas na atualização das curvas CAV, como também sobre especificação de equipamentos, formas de apresentação e entrega dos dados (ANA, 2011).

Para Neto (2018), a atualização proposta pela ANA é necessária devido aos reservatórios sofrerem ao longo do tempo com processos de assoreamento, deste modo, alterando o volume passível a ser utilizado para determinadas atividades, como geração de energia ou como no caso irrigação.

De acordo com França (2019), o cálculo de volume de um reservatório é realizado a partir da representação de uma superfície real a partir de modelagens matemáticas que utilizam os pontos amostrados, com certa precisão, densidade e

distribuição. Os resultados são armazenados em uma determinada estrutura de dados e são posteriormente interpolados para a obtenção de um modelo digital de terreno (LI *et al.* 2004). Com o modelo digital terreno (MDT) obtido pelo levantamento batimétrico é possível gerar as curvas Cota x Área x Volume (CAV).

3.3 Batimetria

Batimetria é um método geofísico que determina a espessura da coluna d'água de rios, lagos e oceanos através das propriedades relativas à propagação das ondas acústicas na água. Essa técnica acústica foi evoluindo ao longo dos anos, partindo de medidas feitas com cordas e pesos que atingiam o fundo submerso e marcavam a profundidade, evoluindo para sistemas com alta frequência, que possibilitam a confecção de mapas precisos, fornecendo dados da topografia do leito através de sistemas monofeixe e multifeixes (SOUZA, 2006).

Com o avanço da tecnologia, são utilizados na batimetria instrumentos conhecidos como ecobatímetros e/ou ecossondas, que são de dois tipos: multifeixe e monofeixe, no qual possuem como propósito medir de forma acurada, a distância entre o transdutor (emissor receptor do pulso acústico) e o fundo submerso. Desta forma, é possível obter os valores topográficos de posicionamento (X, Y e Z) do reservatório, a fim de representar o relevo e determinar o seu volume. A batimetria de fundo de reservatórios para determinação de sua curva CAV, como realizado por Minhoni *et al.*, (2017), é uma prática recomendada, sendo importante para geração de um banco de dados sobre o empreendimento, possibilitando análises comparativas a partir dos diversos levantamentos, assim como, identificar de forma temporal possíveis processos de sedimentação do tempo.

Os levantamentos batimétricos fazem uso de equipamentos capazes de emitir ondas sonoras e, imediatamente, processar os dados com o auxílio de softwares e hardwares informatizados, gerando informações batimétricas com a precisão de centímetros, como é o caso do presente trabalho, na qual o conjunto ecobatimétrico produz dados com a resolução de 1 centímetro e precisão de $\pm 0.1\%$ de profundidade da água (SOUTH, 2017).

O processo envolvido para realização de um levantamento batimétrico consiste nas seguintes etapas: planejamento das seções batimétricas, levantamento de campo, processamento das informações coletadas no campo e a utilização de

softwares na geração de mapas e na obtenção de curvas cota x área x volume (CORRÊA FILHO *et al.*, 2005).

3.4 Ecosonda Multifeixe

Os ecobatímetros multifeixe (multibeam) efetuam várias medidas de profundidade a cada pulso acústico (ping) que é emitido por múltiplos feixes, que são arranjados angularmente de maneira a mapear áreas contíguas na direção perpendicular a navegação, assim, proporcionando levantar faixas extensas (variando com a profundidade) do fundo, atingindo elevada resolução da área mapeada (GAGG, 2016).

A quantidade de dados obtidos a partir de ecobatímetros multifeixes são muito maiores em relação aos dados de ecobatímetros monofeixe, devido à área de fundo ser mapeada com continuidade, constituindo, geralmente faixas de pontos na direção perpendicular à direção de deslocamento do barco (ambos os lados), conhecida como sistema de varredura (swath) (SOUZA, 2006) (Figura 1). França (2019) define os ecobatímetros multifeixes como instrumentos capazes de permitir um mapeamento de uma grande quantidade de pontos do fundo submerso com um único pulso/disparo de alta resolução e também são reconhecidos pela sua eficiência, permitindo a produção de mapas batimétricos em curtos períodos e com alta resolução e acurácia.

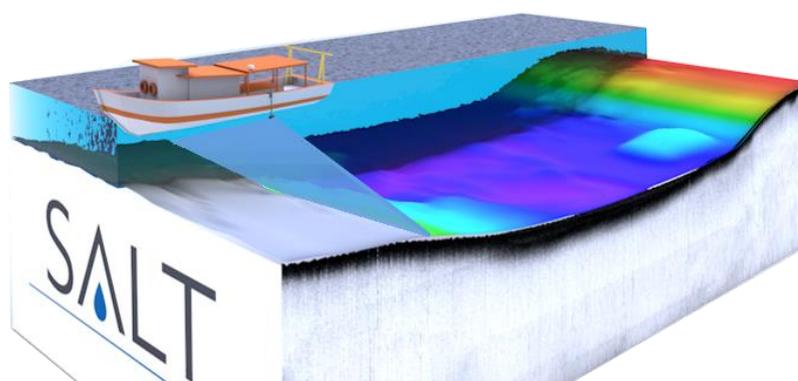


Figura 1 - Funcionamento do ecobatímetro multifeixe demonstrando o (swath).

Fonte: SALT (2021).

3.5 Ecossonda Monofeixe

A maioria dos levantamentos ainda hoje, utilizam sistemas acústicos realizados por meio da batimetria monofeixe, também conhecidos como single beam, que medem a lâmina d'água logo abaixo da embarcação, de modo que possuem um feixe único e retornam apenas um valor de profundidade para um dado intervalo de tempo.

O ecobatímetro monofeixe apresenta quatro componentes básicos: um transmissor, um transdutor, um receptor GNSS e um sistema de controle e visualização. A partir desse sistema é gravada uma medida de profundidade a cada pulso acústico emitido nas áreas submersas. De acordo com Street (2000) utiliza-se uma embarcação e um sistema de posicionamento global (GNSS) com o objetivo de construir um mapa tridimensional com coordenadas x, y e z do fundo de corpos hídricos, conforme Figura 2.

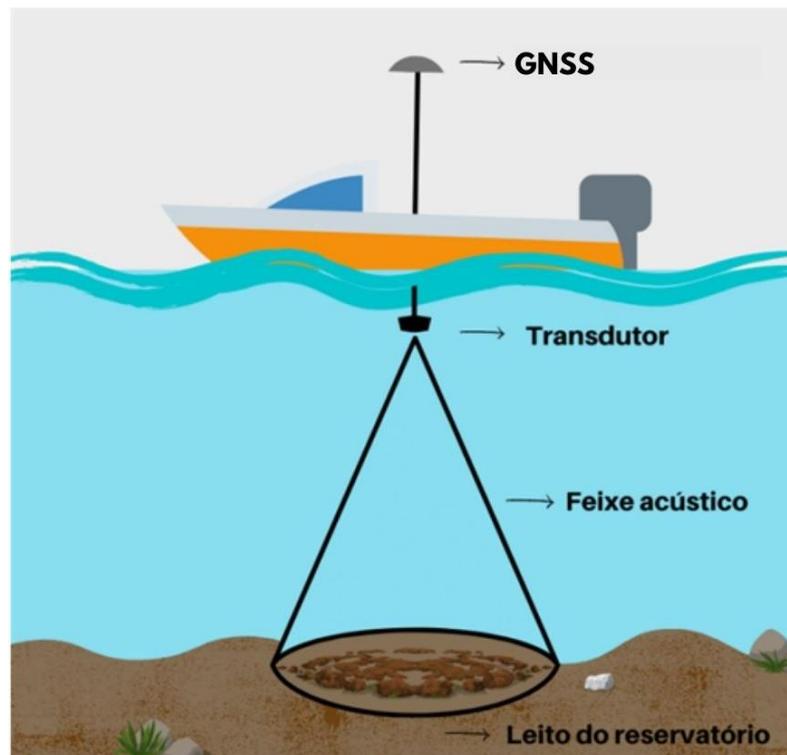


Figura 2 – Ilustração do funcionamento de um ecobatímetro monofeixe.

Fonte: Próprio autor.

Para França (2019), em um levantamento batimétrico monofeixe adota-se linhas de sondagem paralelas e perpendiculares às isóbatas e ao talvegue (ponto de maior profundidade) do rio que foi represado, garantindo desta forma o correto delineamento da feição do fundo do reservatório. Sendo assim, devido a necessidade

da utilização de ferramentas para a transformação de dados discretos (seções de levantamento) em dados contínuos (representar todo o fundo do reservatório), o espaçamento entre seções, bem como a técnica utilizada para modelagem do terreno desempenham um importante papel.

3.6 Geoestatística

Surgimento da geoestatística se deu na África do Sul, quando Daniel Krige (1951) trabalhou com dados de concentração de ouro e verificou que para encontrar sentido nas variâncias em estudo era preciso levar em conta as distâncias entre as amostras, com isso, surgiu o conceito da geoestatística ou teoria das variáveis regionalizadas, que leva em consideração a localização geográfica e a dependência espacial. A geoestatística utiliza os dados amostrais duas vezes: primeiramente para estimar a autocorrelação espacial, ou seja, identificar o variograma e depois para a inferência espacial propriamente dita (ANDRIOTTI, 2003) e possui diferentes interpoladores descritos na literatura, sendo eles divididos como métodos de interpolação determinísticos e probabilísticos (SANTOS, 2011).

Mesquita (2009) ressalta que os modelos probabilísticos fazem uso de métodos estatísticos, bem como de funções matemáticas, permitindo à estimativa da incerteza atrelada às previsões. Porém, para Terra (2012), modelos determinísticos são limitados para determinar a variabilidade espacial, fazendo uso apenas de funções matemáticas. Com isso, a utilização de um interpolador probabilístico, tal como a krigagem, se torna importante no estudo da variabilidade espacial e temporal (GONÇALVES, 2017), sendo que, com a krigagem pode-se fazer previsões em locais não amostrados, por meio de um preditor não tendencioso e de variância mínima.

3.7 Krigagem Ordinária

Reis (2013) diz que a técnica de confecção de mapas de superfície, onde são geradas estimativas de dados de pontos não amostrados a partir de pontos amostrados é denominada interpolação de dados. E que uma maneira de estimar o valor de um ponto não amostrado é calcular uma média ponderada usando os valores observados nos pontos amostrados mais próximos ao ponto que se deseja obter tal estimativa.

Dentro da geoestatística a krigagem é um dos métodos mais utilizados e é considerada como bastante adequada para geração de mapas, compreendendo um conjunto de técnicas geoestatísticas de ajuste usadas para aproximar dados pelo princípio que: fixado um ponto no espaço, os pontos no seu entorno são mais relevantes do que os mais afastados (ISAASKS e SRIVASTAVA, 1989).

Para Rossi *et al.*, (1994), a krigagem apresenta três características que a distinguem dos outros métodos de interpolação, ela pode fornecer uma predição que pode ser maior ou menor que os valores da amostra, usa a distância estatística ao utilizar um modelo de dependência espacial expresso pelo semivariograma e por fim leva em conta a minimização da variância do erro de predição.

Para Issaks e Srivastava (1989), o semivariograma mede o grau de dependência espacial entre os elementos e define parâmetros para a estimativa dos valores em locais que não são amostrados. Segundo Pereira (2018) em um semivariograma são apresentados quatro parâmetros, sendo eles: alcance (a), efeito pepita (C_0), patamar (C) e a contribuição (C_1), ambos representados na Figura 3.

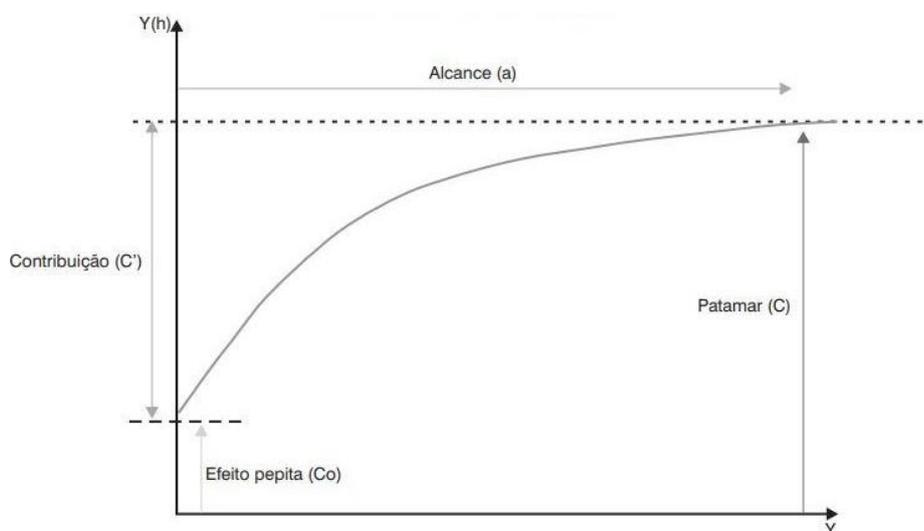


Figura 3 – Parâmetros do semivariograma.

Fonte: VICENTE (2004).

3.8 Aerofotogrametria

A fotogrametria pode ser definida como sendo a arte, a ciência e tecnologia de se obter informações seguras sobre objetos físicos e do meio ambiente por meio de processos de registros, medições e interpretação de imagens fotográficas

(PEGORARO, 2013). Para Novo (2010) a fotogrametria é reconhecida como o primeiro método de sensoriamento remoto desenvolvido, sendo utilizada para fins de mapeamento topográfico, utilizando-se fotografias capturadas a partir de balões ainda na década de 1860 na França até antes de 1949.

O Sensoriamento Remoto e a Fotogrametria são classificados em três níveis de aquisição de dados: terrestre, aéreo e espacial (GALVÃO, 2014). A aerofotogrametria (nível aéreo) é uma subdivisão da fotogrametria que é viabilizada com a utilização de câmeras especiais de alta precisão embarcadas em aviões ou, em veículos aéreos não tripulados (Figura 4).



Figura 4 – Ilustração mapeamento com RPAS.

Fonte: Próprio autor.

Após execução da aerofotografia digital do local e de posse das imagens brutas da área de estudo, foram realizados os processamentos com softwares fotogramétricos, que permitem uma aerotriangulação do bloco de imagens que consistem na determinação de coordenadas de pontos de interesse, a calibração da câmera e correção das distorções das lentes e da variação do relevo.

3.9 Sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAS)

O surgimento do sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAS) no Brasil, iniciou pelo Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial (CTA), no ano de

1984, em um projeto denominado Acauã, que tinha como objetivo aplicações militares e civis com interesses ambientais (LONGHITANO, 2010). Porém, hoje a realidade dessas aeronaves é bem diferente, são projetados para realizar operações no mercado civil e comercial, abrangendo uma diversidade de modelos de drones e a grande maioria está apresentando visibilidade em muitas áreas em aplicações como, cadastro de propriedades, documentação agrícola, agricultura de precisão, áreas degradadas, dentre outras.

As particularidades do equipamento têm expandido o uso do RPAS, em especial na atualização e produção de mapas, em áreas com características pequenas ou afastadas onde a aplicação da fotogrametria convencional faz-se com que a realização do trabalho se torne economicamente difícil. O levantamento planialtimétrico utilizando RPAS surge no âmbito das geotecnologias como uma alternativa de baixo custo para aplicações de aerofotogrametria, gerando resultados com alta precisão e resolução espacial, proporcionando economia de recursos humanos e financeiros, além da rapidez na geração dos resultados e incremento da segurança no trabalho (EISENBEISS, 2011).

Para realizar um voo autônomo a aeronave precisa ainda de um receptor GNSS. Com isso as coordenadas obtidas por esse receptor podem ainda ser atreladas as imagens que quando inseridas em software de processamento, auxiliam no pré-georreferenciamento dos dados. Após processamento das imagens, o software apresenta os produtos finais em Mosaico de Ortofotos, Modelos Digitais de superfície (MDS) e Modelos Digitais do Terreno (MDT).

3.10 Mosaico Ortofotos

A ortofoto é a fotografia resultante da transformação de uma foto original que é projeção cônica central do terreno em projeção ortogonal sobre um plano. Com isso, os objetos contidos nela são representados em suas respectivas posições orográficas (SATO, 1996).

Os mosaicos aereofotográficos dispõem de uma visão abrangente de uma grande área. Ribeiro (1995), sustenta que os mosaicos podem ser obtidos de uma coleção de aerofotogramas, sendo usados em diferentes campos de atividades, como

ocupação da terra, projeto de planejamento racional do solo, avaliação de impactos ambientais e entre outros.

3.11 Modelo Digital de Elevação (MDE) e Modelo Digital de Terreno (MDT)

Existe uma preocupação com a representação de informação espacial desde a década de 1950 e ao longo desse tempo têm surgido muitas técnicas de representação digital de terreno. Há cerca de 60 anos nos Estados Unidos (EUA) foram desenvolvidos os modelos digitais de terreno (MDT), com o propósito de apoiar à automatização de projetos viários e atualmente são aplicados nos mais variados projetos e ramos da engenharia que necessitam de informações precisas quanto ao relevo, são exemplos da utilização em projetos de: traçado de perfis de terreno, terraplenagem, cálculos de volumes, cálculo de recalque e etc (SILVA e SEGANTINE, 2015).

Para Felgueiras (1987), o MDT é um modelo matemático que representa o comportamento de um fenômeno a partir da distribuição espacial de alguma característica, como temperatura, relevo etc. Andrade (1998) prefere usar o termo Modelo Digital de Elevação (MDE) para designar apenas a elevação da superfície e o termo MDT significando um modelo mais completo do terreno, incluindo outras feições, tais como: casas, prédios, vegetação, árvores etc. E quando a informação apresenta maior elevação de cada ponto, proveniente do solo ou acima de área de terreno o modelo é chamado de Modelo Digital de Superfície (MDS), e um MDT ou um MDE podem ser derivados do processamento de um MDS (OLIVEIRA, 2013).

3.12 Contextualização barragem em estudo

A Barragem do Arroio Chasqueiro (BAC) foi construída dentro do Programa da Bacia da Lagoa Mirim (PROMIRIM), e está em operação desde o ano de 1983. Para Robaina (2007), essas obras hidráulicas são construídas com a finalidade de acumulação ou derivação de água para uma determinada aplicação, como no caso do reservatório da BAC, que desde a década de 80 possui como principal propósito a captação de água e abastecimento de lavouras de arroz irrigado pelo método de irrigação superficial inundado (Figura 5).



Figura 5 - Vista aérea do reservatório da barragem do Chasqueiro.
Fonte: ALM (2021).

A BAC está inserida no distrito de irrigação do arroio Chasqueiro, e possui um reservatório que apresenta uma área alagada próxima a 1650 hectares e um volume total de $117.000.000\text{m}^3$ de água, contando com um volume útil da ordem de $105.600.000\text{m}^3$ de água (GONÇALVES *et al.* 2019).

O perímetro de irrigação ocupa uma área de 26 mil hectares com aproximadamente 19 mil hectares irrigáveis, abrangendo a rede principal do sistema de irrigação que comporta um total de 90 obras hidráulicas em concreto armado e 38 pontilhões de madeira (GONÇALVES *et al.*, 2019). Com uma rede principal de extensão total de 90km, constituída basicamente de 3 canais de irrigação, C-1,C-2,C-2/1 (ALM, 2021).

O reservatório apresenta uma barragem de terra com filtro de areia, com 1200m de comprimento e uma altura máxima de 22m, a crista de coroamento possui uma largura em torno de 9m (GONÇALVES *et al.* 2019). Observa-se na Figura 6 que ao lado esquerdo da ombreira encontra-se o vertedor do tipo tulipa e tomada d'água, ambas as estruturas de concreto.



Figura 6 - Vista superior das obras hidráulicas da barragem do Chasqueiro.
Fonte: ALM (2021).

4. Material e Métodos

Nesse tópico serão apresentados a área de estudo, principais equipamentos e metodologias utilizadas para realização do trabalho. Os levantamentos aqui referidos subdividem-se em batimetria da área molhada, topografia e aerofotogrametria empregando sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAS), apresentados em ordem de aplicação.

4.1 Local de estudo e caracterização da bacia hidrográfica

O reservatório da Barragem do Arroio Chasqueiro (BAC), localiza-se no município de Arroio Grande, no estado do Rio Grande do Sul. Está inserida na bacia hidrográfica do Arroio Chasqueiro, na qual possui uma área de aproximadamente 245km² e faz parte do conjunto de bacias que compõem a bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo, conforme Figura 7.

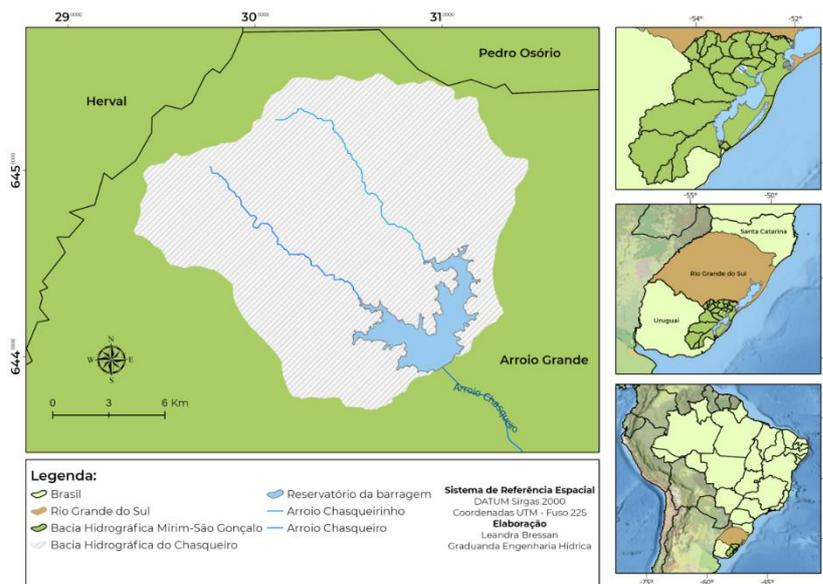


Figura 7 - Localização da Barragem do Arroio Chasqueiro.
Fonte: Próprio autor.

A bacia hidrográfica do arroio Chasqueiro aflui pela sua margem oeste diretamente para a Lagoa Mirim, tendo como afluentes o Arroio Chasqueiro e Arroio Chasqueirinho. A altitude da bacia varia de 29 à 242 metros nível médio do mar e apresenta relevo suave ondulado (EMBRAPA, 1979).

Para Costa Filho (2016) na área em estudo ocorre a predominância de planícies de solos hidromórficos na bacia, com estrutura produtiva fundada no cultivo de arroz irrigado e pecuária de corte extensiva, além de produção diversificada com culturas anuais, como soja, milho, pecuária de cria e leite. Segundo Felipim (2014), o clima presente na bacia é do tipo subtropical úmido, e enquadra-se na classificação de Köppen como “Cfa”, sendo (clima temperado, com chuvas bem distribuídas e com verões suaves).

4.2 Batimetria área molhada

4.2.2 Ecossonda monofeixe

Para obtenção dos dados de profundidade foi utilizada uma *Ecossonda Batimétrica* modelo SDE 28S da marca SOUTH acoplada a um transdutor com frequência de 200kHz, no qual é instalado submerso em torno de 20 cm na parte lateral de uma embarcação náutica. Através da emissão de um pulso acústico em direção ao leito do corpo hídrico, o ecobatímetro recebe o retorno do pulso, e pelo tempo de deslocamento do som, o equipamento calcula a profundidade da coluna de

água, conforme esquema Figura 8. O equipamento também possui dois softwares instalados que são necessários para obtenção dos dados, sendo eles o PowerNav e o SDE-28S (SOUTH,2017).

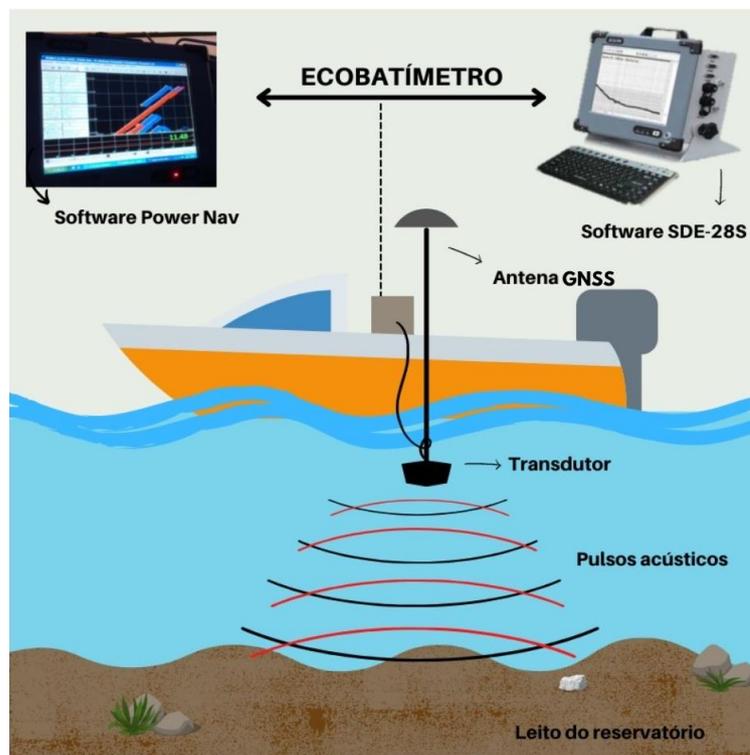


Figura 8 - Princípio utilizado para medição da profundidade através da emissão e recepção de sons em direção ao leito do curso d'água.

Fonte: Próprio autor.

Para obtenção de dados de posicionamento geográfico utilizou-se um receptor GNSS, modelo ProMark 500 da marca Magellan, que fornece informações dos pontos geodesicamente definidos (latitude e longitude), que são anexadas às informações de profundidades obtidas pelo ecobatímetro, ambos equipamentos instalados em um barco a motor conforme Figura 9.



Figura 9 - Conjunto dos equipamentos utilizados para levantamento batimétrico.
Fonte: HIDROSEDI (2020).

Quando são empregados ecobatímetros de feixe único, o trabalho no corpo principal, braços e afluentes deverá ser realizado por linhas regulares de sondagem (LS) equidistantes, sendo dispostas de forma longitudinal e transversal as curvas de nível da área (ANA, 2011). Sendo assim, determinou-se que a amostragem das linhas paralelas ao eixo do barramento apresenta intervalos com média de espaçamentos de 200m entre as linhas. E no caso das linhas de amostragem perpendiculares ao eixo do barramento, apresentam espaçamentos variados, entretanto, com média de 500m.

4.2.3 Obtenção da malha de pontos amostrais

A batimetria no reservatório em estudo foi compreendida entres os dias 04, 05 de setembro e 30 de outubro de 2018, com o levantamento realizado pelo ecobatímetro e auxílio dos softwares PowerNav e SDE-28S durante as campanhas, foi possível se obter uma malha com 42.003 pontos amostrais (Figura 10), na qual apresentam informações de coordenadas X (Latitude), Y (Longitude) e Z (Profundidade), onde também é possível observar a distribuição da densidade desses pontos com suas respectivas equidistâncias entre as linhas. Observa-se que a região do braço direito do reservatório apresenta uma maior concentração de pontos em relação ao lado esquerdo, isso ocorre, pois na região esquerda são encontradas áreas consideradas mais rasas em relação ao restante das regiões do reservatório.

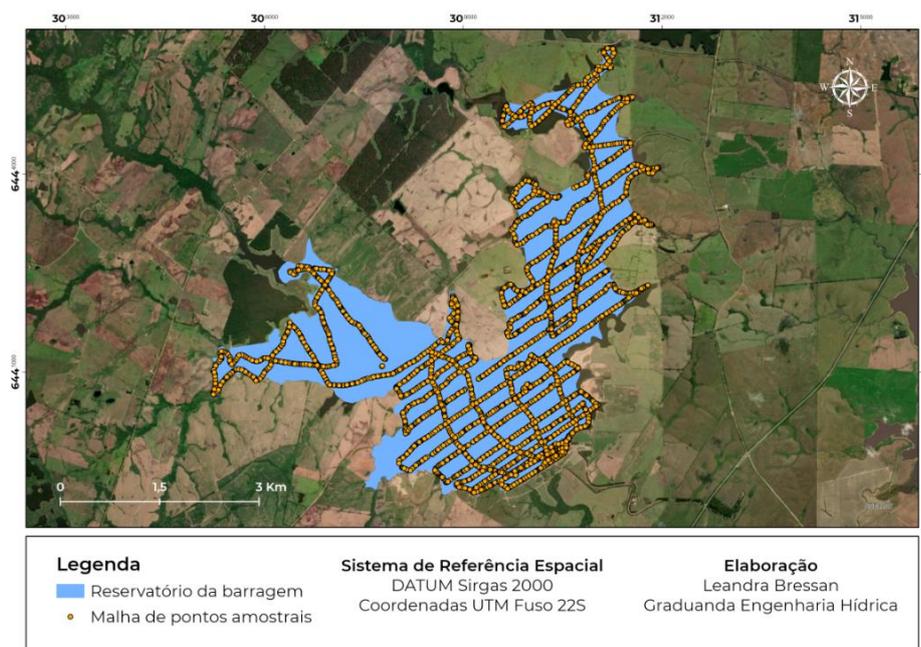


Figura 10 - Malha batimétrica amostrada no reservatório da Barragem do Arroio Chasqueiro.
Fonte: Próprio autor.

4.2.4 Aferição da sonda

Durante a execução do levantamento batimétrico foram coletados alguns pontos aleatórios e com diferentes profundidades para aferir a precisão da ecossonda. Para esse procedimento foi utilizada uma trena milimétrica da marca *Lufkin*, com extensão de 20 m, e o ecobatímetro *SDE-28S*. Através do auxílio de um lastro lançou-se a ponta da trena em direção ao leito do reservatório com o barco ancorado, com isso, a partir da leitura de profundidade realizada com a trena, comparava-se com a medida obtida na ecossonda em tempo real no local, conforme Tabela 1. Tal processo também foi realizado por Gonçalves (2017), no Canal São Gonçalo no município de Pelotas.

Tabela 1 - Valores de leituras de profundidade para aferição da ecossonda

Data Campanha	Leituras profundidades (m)		
	Réguas	Ecossonda	Diferença
04/09/2018	7,72	7,70	0,02
05/09/2018	2,98	2,98	0
30/10/2018	3,60	3,62	0,02

4.2.5 Redução da cota para referência

Segundo Gagg (2016) em levantamentos hidrográficos, as profundidades encontradas incluem a variação da maré no instante da medição, sendo muitas vezes em metros de um local para outro. Com isso, adota-se um plano de referência chamado nível de redução para excluir esses efeitos de maré. Com objetivo de reduzir os dados encontrados nas três campanhas batimétricas tomou-se nota da cota do reservatório da barragem no início e ao fim de cada campanha, assim, calculou-se a média das cotas. As informações das cotas foram obtidas a partir observação de uma régua linimétrica instalada na parte lateral direita do vertedouro da barragem do Chasqueiro, sendo controlada pela Cooperativa dos Proprietários do Distrito de Irrigação da Barragem do Arroio Chasqueiro (COODIC).

4.2.6 Delimitação do lago

Antes de realizar o processo de interpolação dos dados da malha amostral obtida nas três campanhas batimétricas se faz necessário realizar o contorno da área molhada do reservatório. Esse contorno pode ser realizado perante levantamento de pontos cotados utilizando-se um GPS, delimitação por imagem de satélite através de um software GIS, ou, através da delimitação obtida por aerofotogrametria. Nesse estudo, optou-se por delimitação do lago através da aerofotogrametria, utilizando-se a curva de nível de cota 37,5 metros, cota essa de referência para os dias de realização dos voos para o levantamento aerofotogramétrico. Mais detalhes sobre as etapas de aerolevanteamento serão descritos no item 3.3.

Em posse do contorno da área molhada de referência do reservatório (Figura 11A), cria-se uma nova camada de pontos em software GIS a partir de uma distância determinada (Figura 11B). Para Gonçalves (2017) a não inserção desses pontos de contorno da área podem impactar de forma negativa nos processos de interpolação da malha de dados.

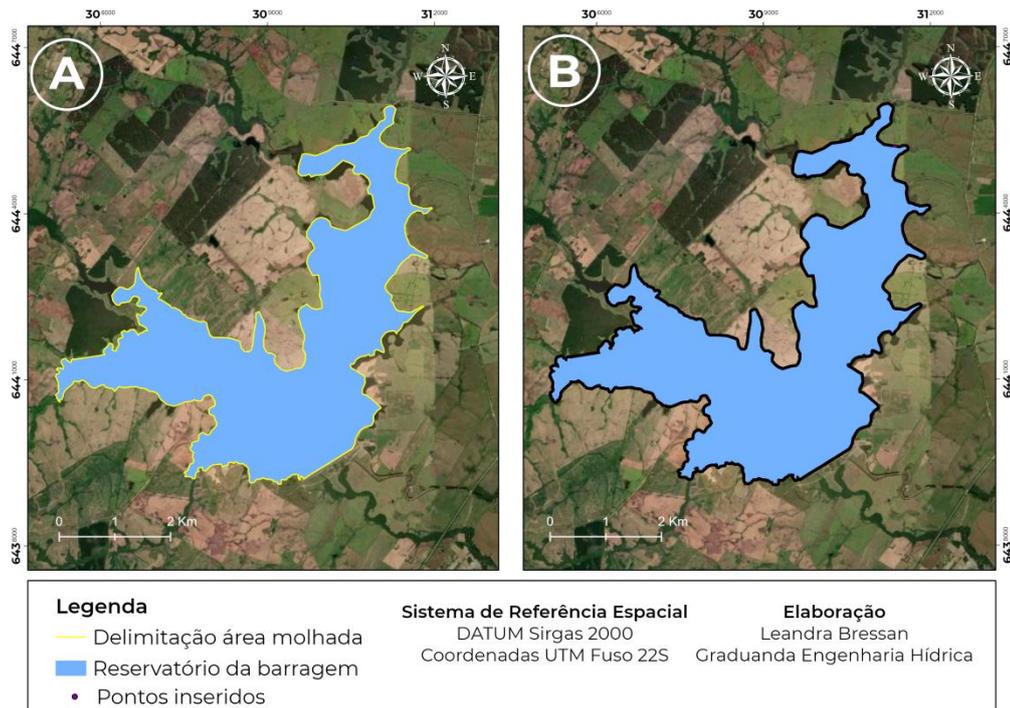


Figura 11 – (A) Delimitação do polígono do reservatório e (B) Representação dos pontos de delimitação das margens reservatório em estudo.

Fonte: Próprio autor.

4.2.7 Interpolação

Através da malha de pontos com coordenadas geográficas de latitude, longitude, profundidade e/ou cota altimétrica conhecidas é possível realizar a interpolação dos pontos para confecção do modelo digital de elevação (MDE). Para Pavão *et al.* (2011), a interpolação é a técnica utilizada para estimar o valor de um determinado local não amostrado, através de pontos situados na mesma área ou região. Em ambiente GIS, realizou-se a aplicação do interpolador Krigagem Ordinária, o interpolador assume que os valores na área de interesse não apresentam tendência que possa interferir nos resultados (LANDIM *et al.* 2002). A tendenciosidade dos dados pode ser identificada a partir de um semivariograma omnidirecional (LANDIM, 2003).

4.2.8 Cubagem do reservatório

O processo de interpolação da malha de pontos amostrais com informações de X (Latitude), Y (Longitude) e Z (Profundidade/cota) resulta na construção do MDE do reservatório em estudo. Após a aquisição do MDE pelo método de interpolação utilizado, realiza-se a derivação das curvas de nível com o auxílio de um software GIS,

atribuindo uma distância entre as linhas, que nesse caso foi de 0,5 metros entre as curvas. Posteriormente, através do MDE e das curvas de nível, obtém-se as informações de área e volume referente a uma determinada cota do reservatório. Tal processamento é realizado em ambiente GIS, permitindo obter-se informações referente a CAV do reservatório.

O volume é calculado a partir de uma cota de interesse como plano de referência, onde nesse estudo aplica-se cota de 42 metros (cota de referência e cota da crista do vededouro), até a cota de 25,5 metros (cota mínima do leito do lago identificada neste estudo).

4.3 Aerolevanteamento

4.3.1 Pontos de controle

Com intuito de aperfeiçoar o posicionamento das imagens obtidas durante o aerolevanteamento e garantir melhor precisão ao mapeamento do trabalho, foram coletados pontos de alta precisão geodésica, denominados pontos de controle e checagem. Neste processo, foi utilizado um par de equipamentos (Figura 12A) GNSS RTK modelo Reach RS2, fabricado pela empresa Emlid.

Primeiramente se faz necessário obter uma coordenada em um ponto base, que seja precisa e amarrada ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), e para determinação das coordenadas e precisões deste ponto base foi abordado o serviço de Posicionamento Por Ponto Preciso (PPP) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (RODRIGUES *et. al.*, 2018). Para coleta dos pontos de checagem e controle foi utilizado a técnica de posicionamento em tempo real (RTK) via rádio UHF, no qual os dados são obtidos a partir das correções emitidas pelo receptor base instalado (RODRIGUES *et. al.*, 2018).

Tais pontos de controle foram alocados na área de estudo com modelos de alvos foto-identificáveis (Figura 12B), assim permitindo a identificação visual dos mesmos nas imagens aéreas obtidas a partir do RPAS.



Figura 12 – (A) Equipamento utilizado para levantamento dos pontos de controle e (B) alvo foto-identificável instalado.

Fonte: Próprio autor.

Na Tabela 2, estão representadas as coordenadas geográficas dos pontos distribuídos ao longo do reservatório. No total foram levantados 37 pontos durante o aerolevanteamento, sendo pontos de controle e checagem, tais pontos são utilizados para agregar acurácia ao levantamento realizado com o RPAS (Figura 13).

Tabela 2 – Coordenadas geográficas dos pontos no entorno do reservatório.

Pontos	Longitude	Latitude
1	31033990,548	643962668,451
2	30957507562	643928568,472
3	3112958294	644312779,221
5	31146378,314	644,222308,802
6	31118885,977	644243923,271
7	31081769,887	644139227,813
8	31058284,036	644114299,105
9	31097684,121	644051220,747
10	31086373,863	644030214,692
13	30906313,977	64392666,077
14	30963912,502	643916942,381
15	30994657,364	643938045,977
16	310403,006	6439600,435
17	31085544,486	643993414,733
18b	30,801485,191	6440733,248
19b	30750660,853	6440676,772
20b	30706160,548	6440772,223

21b	30635398,442	644095696,546
22b	30604015,381	644126402,563
23b	30559556,998	644130668,768
24b	30683726,745	644188563,845
25b	30670422,303	64422058,349
26b	30848875,509	644152063,039
27b	30810680,285	644153255,825
28b	30745093,651	644186697,354
30b	30907194,275	644131294,128
33b	3095848,903	644294581,107
34c	31082750,071	644340792,799
35c	31117022,023	64437217,296
36c	31155920,911	644392293,736
37c	31104351,982	644444723,353
38c	31055117,833	644478497,413
39c	31083508,366	644493402,648
41c	31138585,258	644509680,351
42c	31109567,325	644515444,866
43c	31099131,584	64453265,569
44c	30976689,933	644199840,988

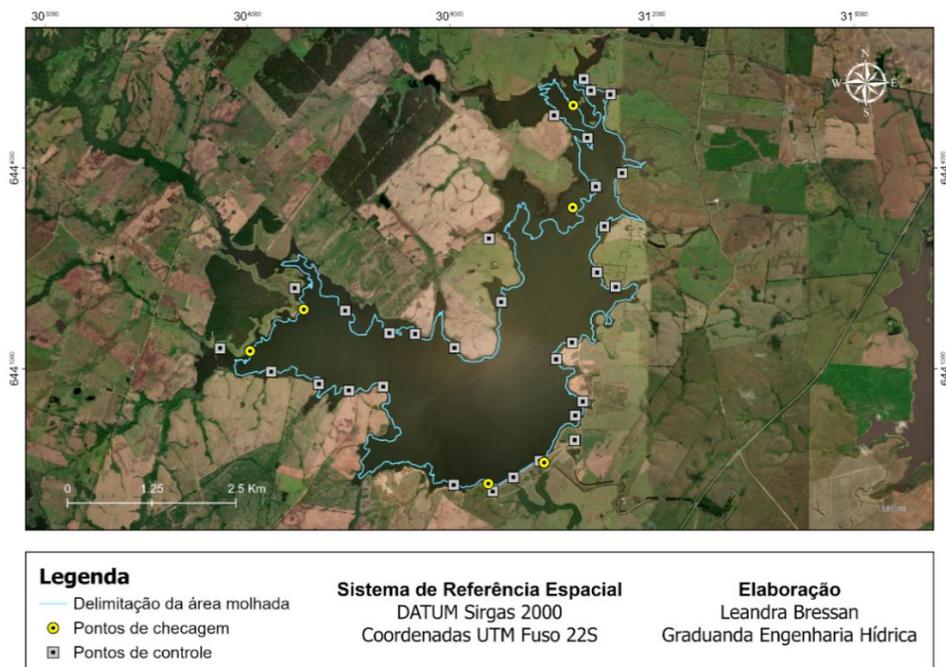


Figura 13 – Localização dos pontos de controle e checagem no entorno do reservatório.
Fonte: Próprio autor.

4.3.2 Sistema de aeronaves pilotadas remotamente (RPAS)

Para obtenção das imagens das áreas secas do reservatório em estudo, foi necessário realizar um aerolevante com RPAS modelo Zangão – V, fabricado pela empresa Skydrones. O equipamento possui características que proporcionam

capacidade da aeronave em realizar voos autônomos pré-programados. Possui envergadura de 1,6 metros, cobertura de 10 km² por voo (conforme execução do voo) e também possui autonomia aproximada de 30 min com sensor de imagem embarcado modelo Sony A6000 (Figura 14A) e o seu lançamento é feito por uma catapulta e o pouso por um paraquedas.

Os voos foram realizados nos dias 02 a 04 de março de 2021, com duração em média de 23 min. Para o monitoramento e controle do RPAS, este possui um sistema de comunicação por telemetria que envia informações durante o voo para uma base de controle localizada em solo (Figura 14B).

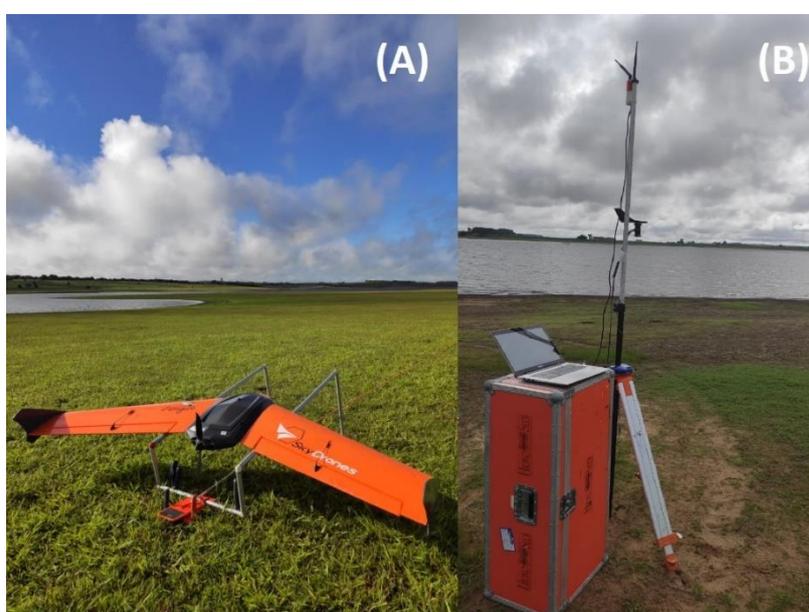


Figura 14 – (A) Modelo RPAS Zangão – V e (B) Base monitoramento de voo.
Fonte: Próprio autor.

4.3.3 Planejamento e execução dos voos

Antes de realizar o mapeamento das áreas das regiões de inundação do reservatório e para um bom andamento do trabalho, assim garantindo qualidade dos dados que serão obtidos, é necessário a realização de algumas etapas antes do voo. Ferreira *et al.* (2013), menciona que existe uma rotina com 06 procedimentos que englobam esses processos, sendo eles: i) escolha da área; ii) análise de segurança do local; iii) planejamento do voo; iv) preparação dos equipamentos; v) verificação dos equipamentos; e vi) pôr fim a coleta de dados.

As áreas de interesse foram determinadas nas regiões secas das margens do reservatório, onde foram determinados 10 polígonos (Figura 15), deste modo, os mesmos foram inseridos no software *Mission Planner* 1.3.10, onde foram realizados

os planejamentos de voos e em todas as operações foram pautados os mesmos parâmetros para cada voo, sendo uma velocidade de $22\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ e as imagens foram capturadas com taxas de sobreposição longitudinal e lateral de 80% e 75%, respectivamente. Por fim, o equipamento é posicionado na catapulta para que essa seja acionada e assim dar início a obtenção das imagens.

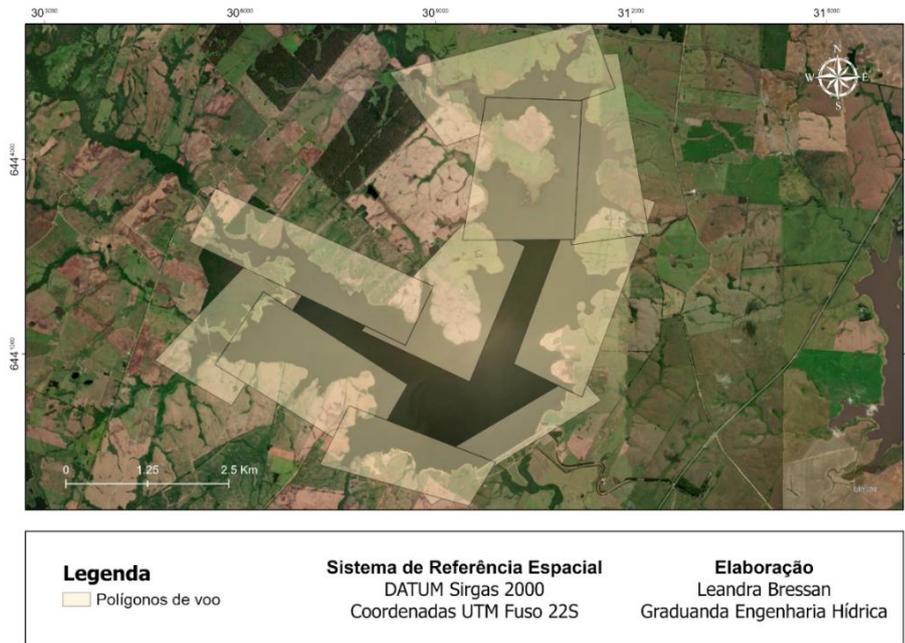


Figura 15 – Polígonos planejados para os voos.
Fonte: Próprio autor.

4.3.4 Processamento e filtragem MDS para MDT

Após a aquisição das imagens a partir do processamento realizado com RPAS, são realizados os procedimentos de processamento das imagens (fotogrametria), o qual é realizado por softwares com alto grau de automatização e requer grande capacidade de desempenho computacional (MELLO, 2020). O processamento das imagens se dividiu nas seguintes etapas representadas pelo fluxograma da Figura 16.

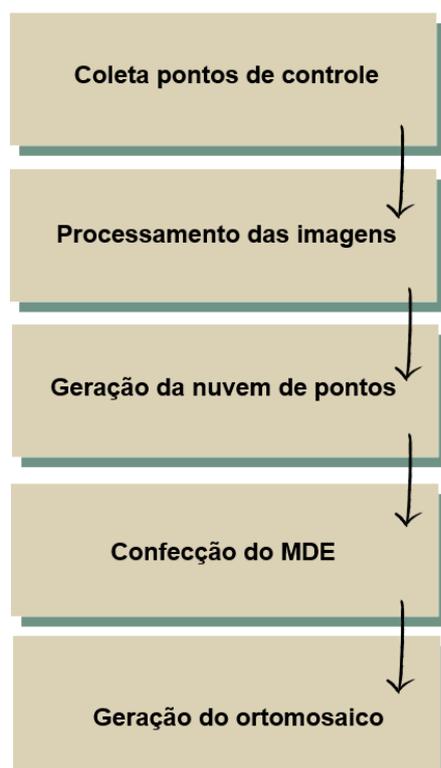


Figura 16 – Fluxograma processamentos dos dados obtidos com o RPAS.
Fonte: Próprio autor.

O processamento das imagens captadas pelo RPAS foi realizado no software *Agisoft Metashape Professional 1.6.0*, disponível para computadores com sistema Windows. Primeiramente no software foram inseridas as fotos para realizar processo de alinhamento inicial das imagens a partir dos pontos de controle, detecção de pontos homólogos e gerada nuvem de pontos esparsa. Em seguida, foram realizadas avaliações estatísticas na nuvem e aplicados filtros para remover altos erros na projeção dos pontos. Na sequência, foi realizado o procedimento de densificação da nuvem e a edição da mesma. Para Filho (2020), o conjunto de pontos apresenta informações geoespaciais (X, Y, Z) e valores espectrais, tais pontos serão utilizados para gerar o modelo digital de terreno da área.

Para realizar a edição da nuvem de pontos foi utilizado o software *CloudCompare* onde são aplicados filtros baseados em equações de desvio padrão e ângulo limite para eliminar pontos da nuvem referentes a vegetação e construções, no trabalho foi utilizado o filtro de simulação de pano (CSF) conforme elaborado por Zhang *et al.* (2016). Assim os dados altimétricos resultam em um arquivo raster (matricial), no qual é elaborado um modelo digital de superfície a partir das

coordenadas da nuvem densa de pontos, como o MDS considera alvos que se localizam acima do terreno, para obtenção do MDT é necessário que ocorra uma filtragem (OLIVEIRA, 2017). É realizada a filtragem para que o produto final seja um MDT, no qual os pontos de elevação se restringem a superfície topográfica, compreendendo apenas o terreno e corpos d'água (FERNANDES, 2017).

Após o MDT é gerado o ortomosaico da área de estudo, no qual consiste em um mapa de vista ortogonal, fruto do agrupamento das fotos aéreas obtidas (MELLO, 2020). E por fim, o arquivo raster do terreno é inserido em ambiente GIS, onde são extraídas as curvas de nível com as cotas altimétricas e realizada a suavização das mesmas, assim minimizando possíveis erros que podem ocorrer durante a interpolação dos dados.

No processamento foram sobrepostas um total de 2.810 imagens, na qual apresentou distância de amostragem do solo (GSD) de 6,39 cm/pixel, ou seja, cada pixel da imagem representa linearmente no terreno. Em termo de área, cada pixel equivale a 40,84 cm². Após realizar a otimização de câmera, foram realizadas as correções de erros para os pontos de controle e checagem, onde se obteve tais valores representados na Tabela 3. No qual foi encontrado um valor de erro total para os pontos de controle igual a 0,95 cm e para os pontos de checagem 19,48 cm.

Tabela 3 -Informações de erro na estimativa dos eixos x, y, z e xy em escala de centímetros (cm).

	Nº	Erro em X	Erro em Y	Erro em Z	Erro XY	Total
Controle	35	0.463406	0.824579	0.092142	0.945873	0.950351
Checagem	06	8.9061	4.0140	16.8581	9.7688	19.484

5. Resultados e Discussão

5.1 Batimetria

5.1.1 Malha amostral

Com base nos dados obtidos nas 03 campanhas batimétricas realizadas em 2018, obteve-se uma malha amostral de 42.003 (quarenta e dois mil e três) pontos contendo informações geográficas de latitude e longitude e valor de profundidade.

Na Tabela 4, é possível observar os valores de profundidade máxima, mínima e média encontrados durante o levantamento da área molhada do reservatório. Por motivo de referências, todos pontos amostrados durante as campanhas, foram colocados em referência a cota do topo do vertedor da barragem, sendo esse valor de cota altimétrica igual a 42 metros.

Deste modo, todos os valores de profundidades encontrados na batimetria foram convertidos para valores de cotas. Esse processo de subtração também foi semelhante ao que Albertin (2010) realizou em um levantamento batimétrico no Reservatório de Três Irmãos (SP).

Tabela 4 – Cota e profundidade máxima, mínima e média das campanhas batimétricas.

Data Campanha	Cota (m)			Profundidade (m)		
	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Média
04/09/2018	41,01	26,23	35,14	15,77	0,99	6,85
05/09/2018	41,87	24,53	33,54	17,77	0,43	8,75
30/10/2018	42,00	27,3	37,1	15,1	0,40	5,3

5.1.2 Interpolação dos dados

Para o processo de interpolação dos dados da área molhada foram considerados apenas os dados de batimetria inseridos a baixo da cota de 37,5m. Com isso, foram identificados 28.198 (vinte oito mil cento e noventa e oito) pontos compreendidos dentro do intervalo determinado, sendo de 25,5 à 37,5 metros, com suas respectivas informações de coordenadas. E a partir da delimitação da cota 37,5 metros realizada pela aerofotogrametria foram inseridos 49.511 (quarenta e nove mil quinhentos e onze) pontos na delimitação de contorno.

Antes do processo de aplicação da krigagem ordinária, é necessário calcular o semivariograma experimental, no qual, o modelo que apresentou comportamento

mais adequado em relação aos dados, foi do tipo exponencial, com os seguintes parâmetros, sendo uma distância (A) de 1350m, efeito pepita (C_0) de 1,2 e patamar (C) de 22,2. Observa-se que o valor encontrado do efeito pepita foi inferior ao valor para o patamar, de acordo com Wanderley (2012), quando o valor do efeito pepita é baixo em relação ao patamar, demonstra que na amostra de dados utilizadas não há erros significativos de medições.

Segundo Gomes (2007), os dados integrados podem apresentar muitas vezes pontos repetidos, contendo erros de digitalização e aquisição, por isso, se faz necessário analisar a variância do erro estimado pela Krigagem Ordinária. Sendo assim, na Figura 17, apresenta o resultado do ajuste da curva sobre o conjunto de dados obtidos através do semivariograma, evidenciando a relação dos dados estimados com os observados. Quanto mais próximos da reta os pontos se aproximarem, mais o ajuste apresenta um resultado bom, isso quer dizer que a capacidade de estimar através dos pontos observados está coerente, assim os dados não estão subestimados e nem superestimados.

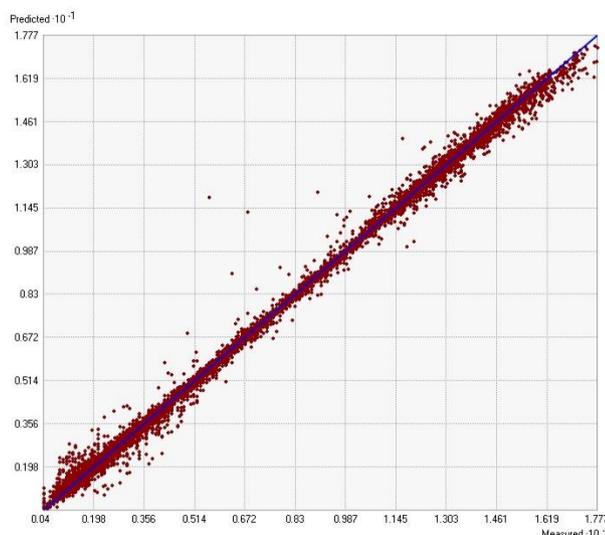


Figura 17 - Validação Cruzada mostrando, numa reta de regressão linear (Medido x Previsto).
Fonte: Próprio autor.

Para Leite (2020), a krigagem apresenta variações de valores mais suaves, quando comparada aos outros métodos de interpolação. Em um estudo Silva e Ferrari (2011), evidenciam que os mapas que foram gerados mostram que a interpolação krigagem ordinária suaviza a distribuição espacial das profundidades dos ambientes aquáticos através das curvas batimétricas, no qual passa exatamente pelos pontos observados.

5.1.3 MDE área molhada

A Figura 18, representa o MDE gerado a partir da interpolação dos dados de cotas da área molhada do reservatório, no qual apresenta resolução de 25 metros. No MDE estão representadas as cotas altimétricas com intervalo de 25,5m à 37,5m, pois foram interpolados somente os valores a baixo da cota 37,5 metros, diferente de Gonçalves *et al.* (2019), no qual o MDE apresentado, dispõe do intervalo de 25,5 metros até a cota altimétrica de 42 metros.

A partir do MDE interpolado também foi possível extrair vinte e cinco curvas de nível em relação ao intervalo de interesse, no qual foram atribuídos um espaçamento de 0,5 metros entre as curvas.

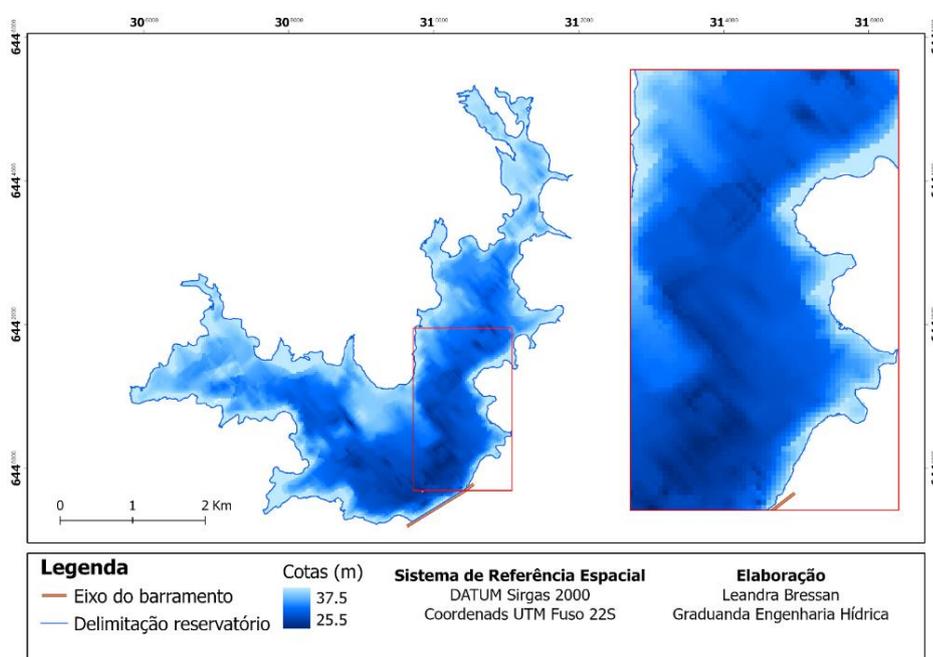


Figura 18 - MDE da área molhada do reservatório.
Fonte: Próprio autor.

5.1.4 Cubagem área molhada

A partir das cotas de área molhada do reservatório, foram elaboradas as curvas CAV, na qual se manteve o espaçamento de 0,5 metros entre as curvas. Sendo assim, para cada intervalo calculou-se a área alagada e o volume de água armazenado, a partir do MDE, em função de um plano de referência especificado, no caso, os intervalos de 25,5 à 37,5 metros.

Na Tabela 5, estão expostos os respectivos valores de área e volume encontrados para os intervalos de interesse. Observa-se que para cota de 37,5 metros

consta um volume de 45.320.000,00 m³ e área de 1.004,62 ha, tais valores diferem dos valores encontrados na cubagem realizada por Gonçalves et. al. (2019) nessa cota (Anexo A), no qual os autores apresentam um valor maior de volume, sendo 47.350.000,00 m³, resultando uma diferença de 2.030.000,00 m³ de volume, e também a área apresentou valor de diferença de 1,93 ha em relação aos valores obtidos no presente trabalho.

Tabela 5– Cubagem da área molhada do reservatório até cota 37,5m.

Cota (m)	Área (m ²)	Área (ha)	Volume (m ³)	Volume 10 ⁶ (m ³)
37.5	10046250.00	1004.625	45323410.72	45.32
37	8913168.37	891.317	40744634.11	40.74
36.5	8419089.33	841.909	36407090.36	36.41
36	7923889.80	792.389	32325237.71	32.33
35.5	7351356.98	735.136	28505111.05	28.51
35	6819451.81	681.945	24966334.68	24.97
34.5	6276822.22	627.682	21699828.25	21.70
34	5848411.87	584.841	18671851.26	18.67
33.5	5404420.27	540.442	15860075.39	15.86
33	4935523.59	493.552	13275946.98	13.28
32.5	4411118.55	441.112	10941658.56	10.94
32	3974852.62	397.485	8849470.61	8.85
31.5	3523731.66	352.373	6978249.01	6.98
31	3092764.08	309.276	5326445.63	5.33
30.5	2608504.97	260.850	3897887.07	3.90
30	2087423.16	208.742	2727160.86	2.73
29.5	1623749.96	162.375	1810170.20	1.81
29	1196736.52	119.674	1101970.71	1.10
28.5	776126.40	77.613	616067.90	0.62
28	483907.77	48.391	308477.18	0.31
27.5	262275.69	26.228	125506.92	0.13
27	108916.18	10.892	41448.00	0.04
26.5	36765.35	3.677	8535.06	0.01
26	4687.80	0.469	524.78	0.00
25.5	0	0	0.0	0.00

Em operações de reservatórios as curvas CAV apresentam papel importante na definição de estratégias de gestão dos recursos hídricos (FRANÇA, 2009). Na Figura 19, é apresentada a curva CAV gerada para o intervalo de 25,5 à 37,5 metros, onde quanto maior a cota, maior a área e consequentemente, maior o será o volume do reservatório. A partir desse momento, esta será reconhecida como CAV 2018, por

ter sido idealizada a partir de dados de batimetria obtidos em 2018 em estudo desenvolvido por Gonçalves *et al.* (2019).

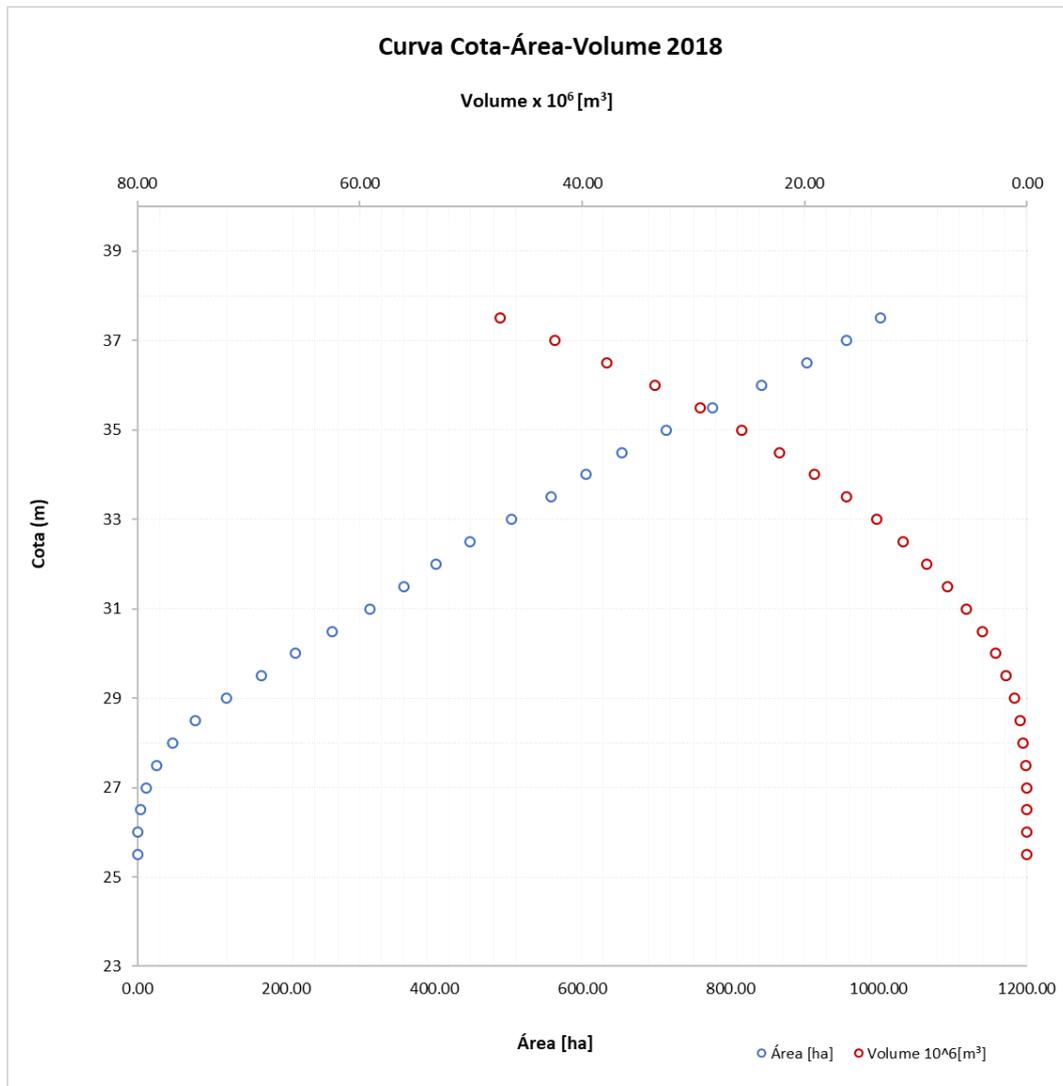


Figura 19 – Relação CAV até a cota 37,5m da área molhada do reservatório.
Fonte: Próprio autor.

5.2 Aerofotogrametria

5.2.1 MDE área seca

A partir do processamento das imagens no software, formação da nuvem de pontos, foram gerados alguns produtos, como: ortofoto; MDE das áreas secas do reservatório. Resultante da cobertura aérea com RPAS, a ortofoto é junção de todas as fotos captadas em uma única foto georreferenciada (Apêndice A). Tal produto apresenta importância para auxiliar em questões de visualização das margens que

apresentam processo de assoreamento, ou também em estudos de identificação e classificação de uso e ocupação do solo no entorno do reservatório, como realizado por Nieto *et al.* (2007).

A partir da ortofoto, obteve-se um MDE das áreas secas do reservatório compreendido em um intervalo de cotas de 22m a 94m, no entanto, o MDE exibido na Figura 20, representa um recorte para um novo MDE, no qual apresenta somente os intervalos de interesse do trabalho. No MDE, as altitudes estão dispostas em uma escala de cores, variando de pixel a pixel, onde as cores mais quentes evidenciam as áreas próximas a 42m, e as cores mais frias representam as áreas mais baixas, próximas a cota de 37,5m, permitindo a identificação das mudanças topográficas. O MDE da área seca apresenta uma área de 4,84Km², com resolução espacial de 25,5cm/pixel, densidade 15,3 pontos por m².

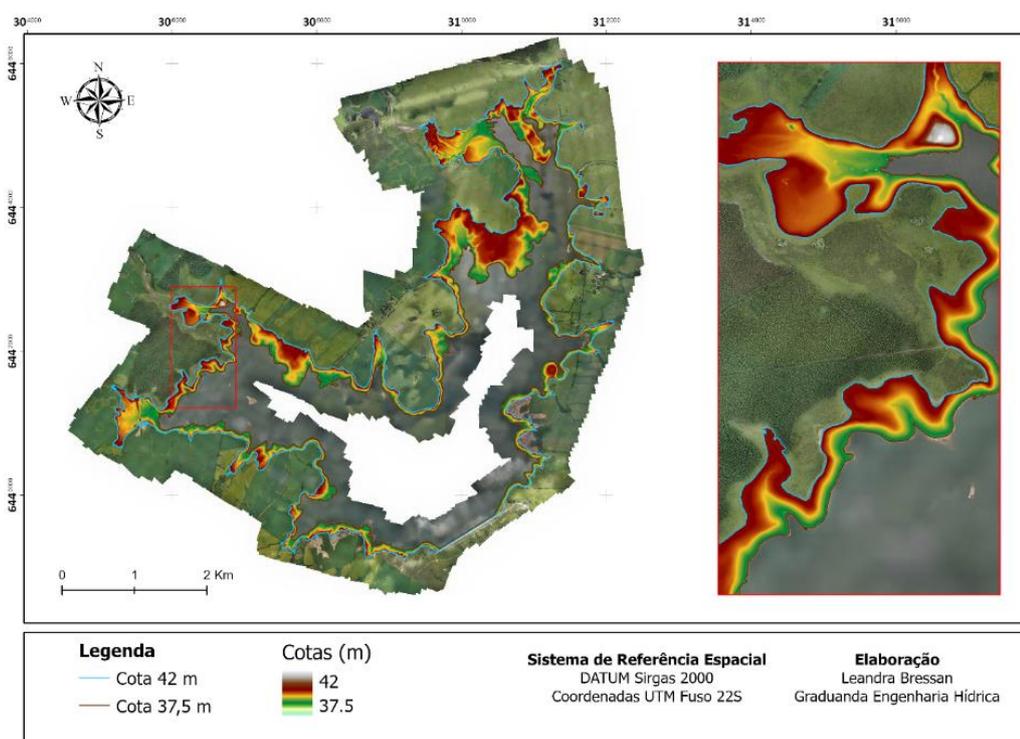


Figura 20 – MDE área seca do reservatório.
Fonte: Próprio autor.

Para Dalmolin (2021), tanto na cartografia como na topografia, umas das formas mais difundidas de representação de elevação, são as curvas de nível, com isso, de posse do MDE apresentado, foram extraídas as curvas de nível da área seca no intervalo de cotas de interesse com espaçamento de 0,5 metros (Figura 21).



Figura 21– Curvas de nível área seca da cota 37,5 à 42 metros.
Fonte: Próprio autor.

As curvas de nível são importantes pois através delas é possível extrair os valores de altitude de determinada região, outro exemplo também da utilização das curvas de nível é a possibilidade de determinar a direção de escoamento de fluídos.

Como Rodrigues *et. al* (2018), determinaram a direção dos fluxos de contaminantes gerados por lixão, a partir das curvas de nível associadas a ortofoto. Em vista da resolução aqui obtida, os fluxos d'água na região de margem pode ser facilmente definidos, algo que poderá auxiliar na questão do reservatório BAC no sentido de diminuir os processos erosivos.

5.3 RPAS x Monofeixe

5.3.1 Cubagem de 2021 do reservatório

O cálculo de volume de água do reservatório contido, realizou-se através da composição dos dados de cotas de 25,5 à 37,5 metros referente a área molhada, atrelados aos dados levantados nas áreas secas do reservatório, sendo de 37,5 à 42 metros. Com isso, na Tabela 6 apresenta os respectivos valores encontrados, referente a cubagem do reservatório para o ano de 2021, no qual, apresentou um volume total de aproximadamente 104.090.000 m³ de água e uma área alagada de

1.554,97 ha. A partir do volume total encontrado também foi possível quantificar o volume útil, sendo considerado somente o volume a cima da cota de 30 metros, no qual resultou em um volume útil de ordem de 100.080.000 m³ de água.

Tabela 6 – Cubagem 2021 do reservatório da barragem do Chasqueiro.

Cota (m)	Área (m ²)	Área (ha)	Volume (m ³)	Volume 10 ⁶ (m ³)	% volume acumulado
42	15549667.72	1554.97	104091053.22	104.09	100.00
41.5	15018601.64	1501.86	96462956.48	96.46	92.67
41	14433261.21	1443.33	89124069.12	89.12	85.62
40.5	13869054.62	1386.91	82075381.85	82.08	78.85
40	13362873.51	1336.29	75303458.14	75.30	72.34
39.5	12819212.22	1281.92	68806102.90	68.81	66.10
39	12248147.37	1224.81	62569677.47	62.57	60.11
38.5	11782430.58	1178.24	56571167.88	56.57	54.35
38	11288410.19	1128.84	50812697.63	50.81	48.82
37.5	10716313.08	1071.63	45323410.72	45.32	43.54
37	8913168.37	891.32	40744634.11	40.74	39.14
36.5	8419089.33	841.91	36407090.36	36.41	34.98
36	7923889.80	792.39	32325237.71	32.33	31.05
35.5	7351356.98	735.14	28505111.05	28.51	27.38
35	6819451.81	681.95	24966334.68	24.97	23.99
34.5	6276822.22	627.68	21699828.25	21.70	20.85
34	5848411.87	584.84	18671851.26	18.67	17.94
33.5	5404420.27	540.44	15860075.39	15.86	15.24
33	4935523.59	493.55	13275946.98	13.28	12.75
32.5	4411118.55	441.11	10941658.56	10.94	10.51
32	3974852.62	397.49	8849470.61	8.85	8.50
31.5	3523731.66	352.37	6978249.01	6.98	6.70
31	3092764.08	309.28	5326445.63	5.33	5.12
30.5	2608504.97	260.85	3897887.07	3.90	3.74
30	2087423.16	208.74	2727160.86	2.73	2.62
29.5	1623749.96	162.37	1810170.20	1.81	1.74
29	1196736.52	119.67	1101970.71	1.10	1.06
28.5	776126.40	77.61	616067.90	0.62	0.59
28	483907.77	48.39	308477.18	0.31	0.30
27.5	262275.69	26.23	125506.92	0.13	0.12
27	108916.18	10.89	41448.00	0.04	0.04
26.5	36765.35	3.68	8535.06	0.01	0.01
26	4687.80	0.47	524.78	0.00	0.00
25.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

A Figura 22, representa o gráfico de cota área volume (CAV 2021), onde os marcadores em azul representam os valores de áreas, e os marcadores em vermelho

representam os volumes, assim, evidenciando a relação de que quando aumenta a cota do lago do reservatório, conseqüentemente, o volume de área alagada também aumenta.

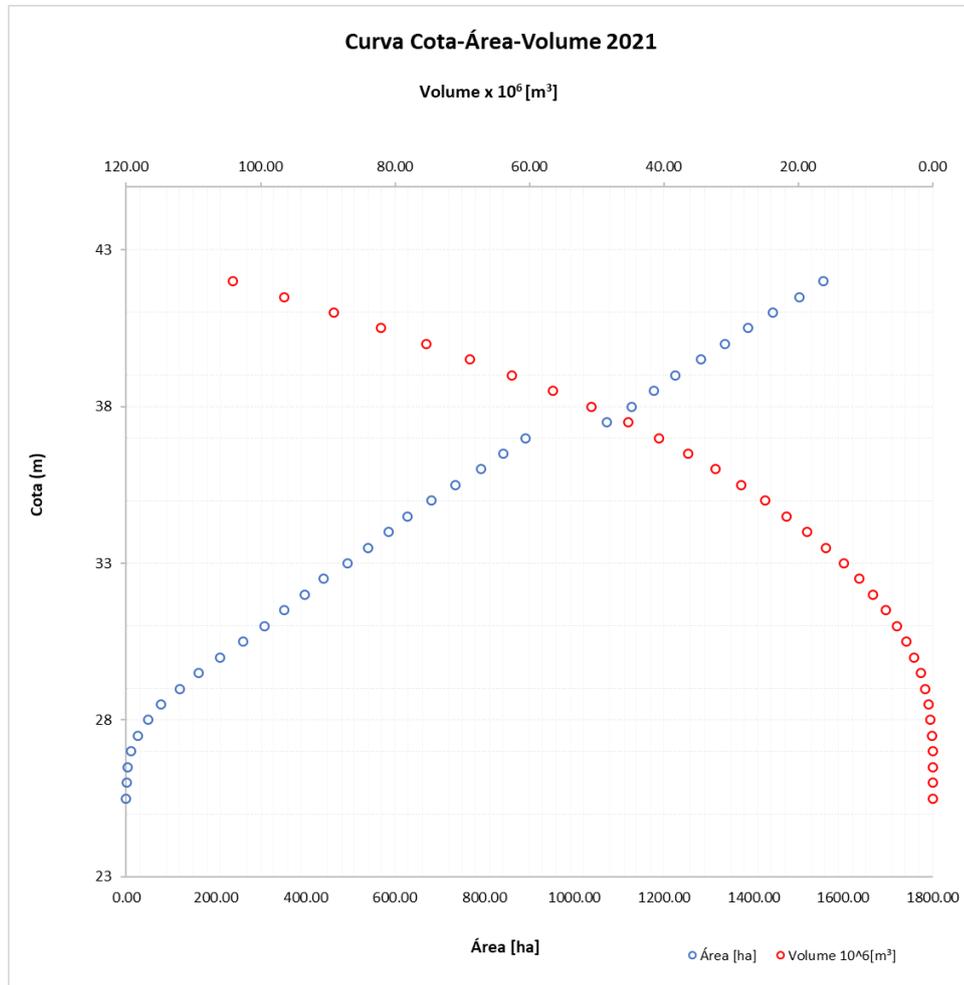


Figura 22 – Relação CAV de 2021 do reservatório da barragem.
Fonte: Próprio autor.

Percebe-se uma variação de comportamento no gráfico em relação a área no intervalo de cota 37,5 metros até a cota de 42 metros, sendo esse intervalo no qual foram aplicadas as técnicas de aerofotogrametria, nota-se que ocorreu um incremento de área nessa interface, tal comportamento pode estar associado a diferença de detalhamento entre as técnicas utilizadas, pois a aerofotogrametria apresenta um ganho de qualidade e resolução, assim quantificando mais áreas. Esse incremento de área também foi observado por GONÇALVES *et al.*, (2020), no qual também foram aplicadas as técnicas de batimetria e aerofotogrametria para estimativa de volume no reservatório de uma barragem no município de Camaquã/RS.

Na Tabela 7, é possível observar os valores de diferença encontrados em relação ao volume obtido pela batimetria da área molhada de 2018 realizada por Gonçalves *et al.* (2019), e o volume obtido pelo levantamento aéreo com RPAS das áreas secas.

O volume encontrado para o ano de 2021, correspondente ao intervalo entre as cotas, obtido pelo mapeamento com RPAS, foi de 58.770.000m³, no qual representa uma diferença de volume de 3,15% em relação ao volume de 2018, que apresenta 55.110.000m³ de volume.

Tabela 7– Diferença de volumes de 2018 a 2021 no intervalo de cotas de interesse.

Cota (m)	2018	2021
	Volume 10 ⁶ (m ³)	Volume 10 ⁶ (m ³)
42	102.46	104.09
37,5	47.35	45.32
Intervalo entre as cotas	55.11	58.77

Na Figura 23, representa os volumes obtidos em 2018 e 2021 e pode-se observar que os valores obtidos da batimetria mais a aerofotogrametria de 2021 foram mais elevados quando comparados aos da batimetria realizada em 2018.

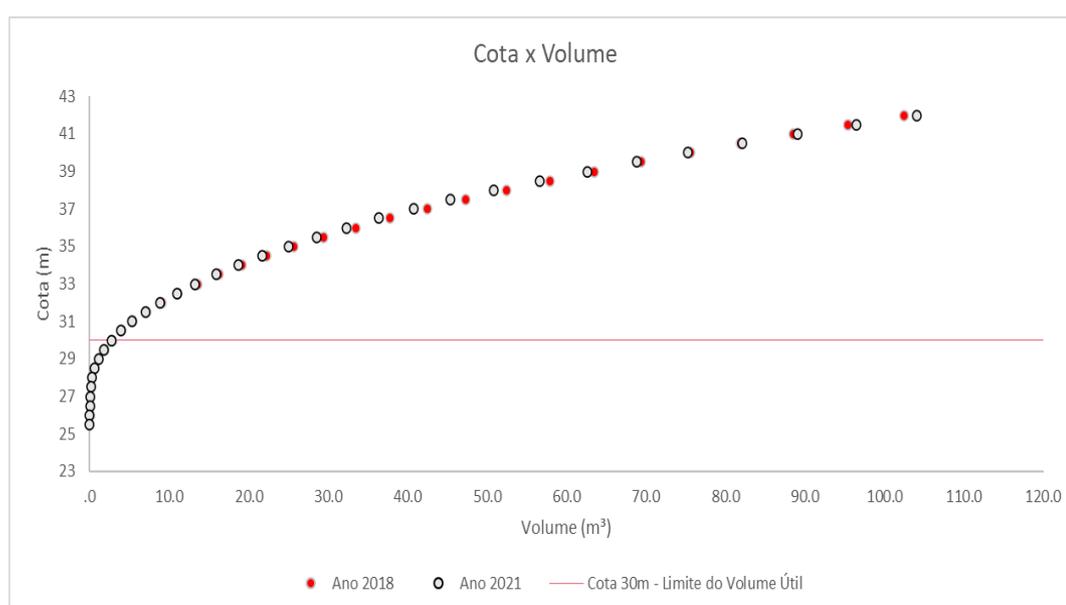


Figura 23 – Relação cota e volume dos anos de 2018 e 2021.

Fonte: Próprio autor.

Comparando as duas metodologias, percebeu-se que as diferenças encontradas podem ser atreladas a metodologia utilizada na área de delimitação de contorno do reservatório em 2018 e também pela cobertura de área que o drone alcançou em relação a áreas nas quais não era possível realizar com o equipamento monofeixe.

5.3.2 Cubagem de 1976 do reservatório

A partir de um arquivo (Figura 24) do repositório físico da Agência para o Desenvolvimento da Bacia Lagoa Mirim (ALM), foi possível extrair os valores da CAV referente a setembro do ano de 1976, no qual, representa o período de realização dos projetos básicos de construção da BAC (ALM, 2021) (Figura 23).

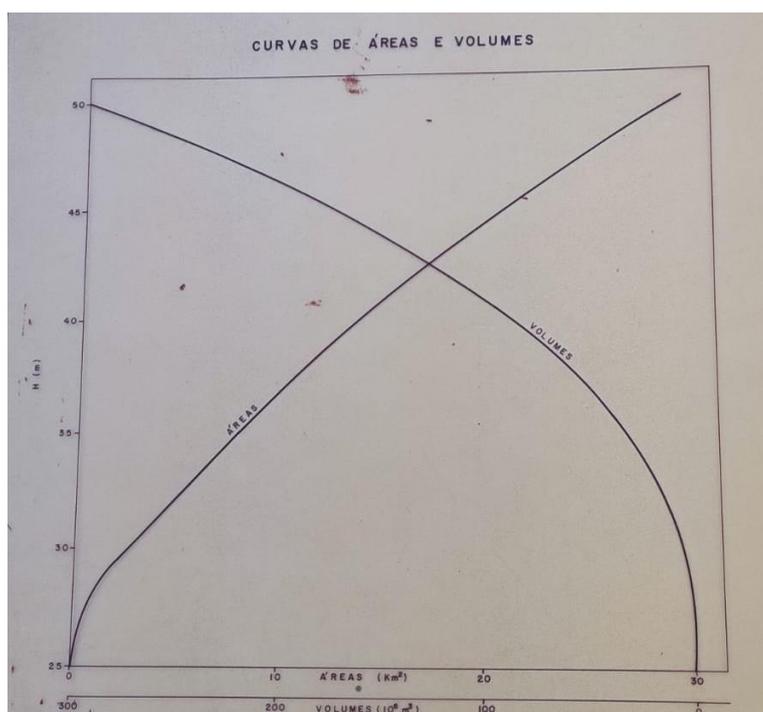


Figura 24 – Relação CAV de 1976 do reservatório da barragem.
Fonte: ALM (2021).

Os dados foram extraídos do arquivo da relação CAV de 1976 e na Tabela 8 apresenta os valores de volume e área, onde observou-se que foram apresentados apenas os volumes acima da cota de 30 metros, no qual representa a região de volume útil do reservatório. Sendo quantificado um volume útil de ordem de 126.720.000m³ no início do projeto da barragem e uma área alagada de 1.738,46 ha.

Ao comparar informações atuais de 2021 com aqueles obtidos para a estimativa do volume útil de 1976, foi possível observar que ocorreu um possível processo de sedimentação no reservatório nesse período de 45 anos. Sendo quantificada uma perda de volume útil de ordem de 26.637.557m³, representando diminuição de 21,02% em relação ao volume útil estimado em 2021 e também uma redução de 183,56 ha de área alagada do reservatório da barragem do Arroio Chasqueiro para o mesmo período.

Tabela 8 – Cubagem do reservatório no ano de 1976.

Cota	Área (km ²)	Área (m ²)	Área (ha)	Volume (m ³)	Volume 10 ⁶ (m ³)	Volume acumulado (%)
42	17.38	17384620	1738.46	126717557.3	126.72	100.00
41.5	16.34	16335000	1633.50	116030534.4	116.03	91.57
41	15.87	15870000	1587.00	97709923.66	97.71	77.11
40.5	14.50	14503800	1450.38	91603053.44	91.60	72.29
40	13.89	13893130	1389.31	83969465.65	83.97	66.27
39.5	12.98	12977100	1297.71	76335877.86	76.34	60.24
39	12.37	12366410	1236.64	68702290.08	68.70	54.22
38.5	11.91	11908400	1190.84	62595419.85	62.60	49.40
38	11.30	11297710	1129.77	57575757.58	57.58	45.44
37.5	10.69	10687020	1068.70	53030303.03	53.03	41.85
37	10.23	10229000	1022.90	46969696.97	46.97	37.07
36.5	9.39	9393900	939.39	42424242.42	42.42	33.48
36	9.09	9090900	909.09	37878787.88	37.88	29.89
35.5	8.33	8333300	833.33	31818181.82	31.82	25.11
35	7.88	7878700	787.87	28787878.79	28.79	22.72
34.5	7.12	7121200	712.12	24242424.24	24.24	19.13
34	6.67	6666000	666.60	21212121.21	21.21	16.74
33.5	6.06	6060600	606.06	18181818.18	18.18	14.35
33	5.76	5757500	575.75	13636363.64	13.64	10.76
32.5	5.15	5151500	515.15	12121212.12	12.12	9.57
32	4.70	4696900	469.69	10606060.61	10.61	8.37
31.5	4.09	4090900	409.09	9090909.091	9.09	7.17
31	3.79	3787800	378.78	7575757.576	7.58	5.98
30.5	3.18	3181800	318.18	4545454.545	4.55	3.59
30	2.58	2575700	257.57	3030303.03	3.03	2.39
29.5	1.97	1969690	196.97	0	0.00	0.00
29	1.52	1515100	151.51	0	0.00	0.00
28.5	1.21	1212100	121.21	0	0.00	0.00
28	0.91	909000	90.90	0	0.00	0.00
27.5	0.61	606000	60.60	0	0.00	0.00
27	0.45	454500	45.45	0	0.00	0.00
26.5	0.30	303030	30.30	0	0.00	0.00
26	0.15	151500	15.15	0	0.00	0.00
25.5	0	0	0	0	0.00	0.00

6. Considerações finais

No desenvolvimento do presente estudo, observou-se que a metodologia utilizada para realizar a delimitação da área de contorno do reservatório, empregando a batimetria realizada no ano de 2019, Gonçalves *et al.* (2019), não representa adequadamente o contorno do reservatório. Naquele estudo, foram realizadas as delimitações considerando uma imagem de satélite de um mapa base disponível em plataforma GIS e, possivelmente as datas correspondentes não coincidiam com as datas das campanhas batimétricas, com isso, os dados de levantamento de contorno referente a cota 42 metros, não foram fiéis ao comportamento do reservatório.

Tal delimitação pode ter sido superestimada, considerando áreas e volumes que não deveriam compreender essa composição. Isso, possivelmente pode ser atribuído ao fato que em determinadas regiões do reservatório a estratégia metodológica empregada para obtenção de dados a campo não permitia observação *in loco* e, para tanto, pontos desses locais foram determinados por interpolador, inferindo que valores de cotas estimadas não coincidiam com as cotas reais empregadas para estimativa da área.

Portanto, as técnicas de aerofotogrametria se mostraram favoráveis em questões de logística, geração de dados com alta resolução e detalhamento, sendo auxiliares no acompanhamento das margens do reservatório em relação a processos erosivos e de assoreamento nas áreas de margem.

O monitoramento continuado e permanente do volume do reservatório da barragem do Arroio Chasqueiro deverá nortear as estratégias de gestão do DIBAC e o presente trabalho servirá como base de dados para as estimativas futuras da capacidade de armazenamento de água e das taxas de sedimentação do lago.

Sugestões

Considerando que os resultados gerados no presente estudo atingiram os objetivos contribuindo para futuros trabalhos, no que se refere ao acompanhamento dos processos de sedimentação, recomenda-se realização de voos periódicos (1 ou 2 anos de intervalo), para acompanhar o comportamento dos processos erosivos nas margens a partir do alto detalhamento obtido pela aerofotogrametria.

A fim de monitorar o assoreamento das margens recomenda-se inserção de perfis topobatimétricos, comparando a topografia das margens tomando como referência os perfis topobatimétricos sugeridos por Gonçalves *et. al* (2019).

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Orientações para atualização das curvas cota x área x volume**. [S.l.], 2013.

ALM. 2021. **Agência para o Desenvolvimento da Bacia Lagoa Mirim**. Online. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/alm/banco-de-dados-dabacia-da-lagoa-mirim/>. Acesso em: 20 out. 2021.

ALBERTIN, L. L.; MATOS, A. J. S; MAUAD, F. F. Cálculo do volume e análise da deposição de sedimentos do reservatório de Três Irmãos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.15, n.4, p. 57-67, 2010.

ANA. Agência Nacional de Águas (2011), Orientações para atualização das curvas cota x área x volume. Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. Brasília: ANA, SGH.

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 1998. ISBN 85-86180-07-6.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. São Leopoldo: Unisinos, 2003. 165 p

ARDUPILOT. **Mission Planner**. Disponível em: <https://ardupilot.org/>. Acesso em: 30 set. 2021.

COLLISCHONN, B.; CLARKE, R. T. Estimativa e incerteza de curvas cota-volume por meio de sensoriamento remoto. RBRH, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. 2016.

CORRÊA FILHO, C.R.R., ALBERTIN, L.L., MAUAD, F.F. Determinação dos polinômios cota x área x volume utilizando a sonda acoustic doppler profiler (ADP) no reservatório de Barra Bonita, SP. **Revista Minerva**, São Carlos, v.2, n.1, p.79-90,2005.

COSTA FILHO, Afrânio das Neves. **Análise dos impactos ambientais das atividades potencialmente poluidoras na bacia hidrográfica do arroio Chasqueiro**. 2016. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas.

DALMOLIN, J. A. **Avaliação do uso da fotogrametria digital em levantamentos topográficos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico de Joinville, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/191768> Acesso em: 27 ago. 2021.

EISENBEISS, H. **The Potential of Unmanned aerial Vehicles for mapping**. In: Phogrammetric Week 11. Diter Fritsch (Ed). Stuttgart: Institut für Photogrammetrie. p. 135-144.2011. Disponível em: <http://ifp.unistuttgart.de/publications/phowo11/140Eisenbeiss.pdf>.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ)**. Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p

ESTIGONI, M. V. & MATOS, A. J. (2009), “Comparação de Diferentes Batimetrias do Reservatório da Usina Hidroelétrica do Lobo”, **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Campo Grande, MS.

FELGUEIRAS, C. A., **Modelagem Ambiental com Tratamento de Incertezas em Sistemas de Informação Geográfica: O Paradigma Geoestatístico por Indicação**. In: Tese de Doutorado em Computação Aplicada, INPE - São José dos Campos, 2001.

FELIPIM, T.; SIMON, A. L. H. Alterações na rede de drenagem da bacia do Arroio Chasqueiro – RS, decorrentes da ação antrópica. **Revista Geonorte**, v. 5, n. 23, p. 52-56, 2014.

FERNANDES, V. J. M.; MARTINS, E. F. O.; DAL POZ, A. P.; IMAI, N. N. Filtragem de nuvem laser para geração de MDT por krigagem. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, n. 1, p. 196-212, jan./mar. 2017.

FERRARI, R. L. **Reconnaissance techniques for reservoir surveys**. US Bureau of Reclamation, p. 139, abr. 2006.

FRANÇA, Paulo Henrique Praça de. **Avaliação comparativa de métodos e técnicas batimétricas na obtenção das curvas Cota X Área X Volume de reservatórios em usinas hidrelétricas**. 2019. 102 f., il. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) - Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

GALVÃO, Gustavo M. & ROSALEN, David L. (2013). Acurácia da mosaicagem gerada por veículo aéreo não tripulado utilizado na agricultura de precisão. In: **Anais XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**. CONBEA: Fortaleza.

GAGG, G. **Apostila de Levantamentos Hidrográficos: Noções Gerais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Departamento de Geodésia, 2016.

GOMES MP, VITAL H & MACEDO JWP. 2007. Aplicação da Geoestatística na Filtragem de Dados Batimétricos e Altimétricos na Bacia Potiguar. **Revista de Geologia**, 20: 243–255.

GONÇALVES, G. M.; COLLARES, L. G; KRUGER, G. B.; BONCZYNSKI, R. G. **Levantamento batimétrico reservatório da barragem do Arroio Chasqueiro. NEPE -HIDROSEDI**. 2019. 31p. Disponível em: <http://www.hidrosemi.com/category/noticias>. Acesso em: 10 ago, 2021.

GONÇALVES, G. M.; COLLARES, L. G; KRUGER, G. B.; BRUCH, F. A.; SILVEIRA, F. J. **Levantamento batimétrico reservatório da barragem AUD Camaquã, RS. NEPE -HIDROSEDI**, 2020. 24p. Disponível em: <http://www.hidrosemi.com/category/noticias>. Acesso em: 10 ago, 2021.

GONCALVES, G.S. **Levantamento batimétrico do canal São Gonçalo na região do porto de Pelotas.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Hídrica) - Engenharia Hídrica, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.61f.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** 2017. Manual do Usuário: Aplicativo Online IBGE-PPP. Brasília

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics.** New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

KÄÄB, A. Combination of SRTM3 and repeat ASTER data for deriving alpine glacier flow velocities in the Bhutan Himalaya. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.94, n.4, p. 463- 474, 2005.

KRIGE, D.G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the witwatersrand. **Journal of South African Institution of Mining and Metallurgy, Johannesburg**, 52: 119-139, 1951.

KOMAZAKI, J. M. Camargo, P. O, Galo, M. & Amorim, A. (2017). Avaliação da Qualidade Geométrica de Modelos Digitais do Terreno Obtidos a Partir de Imagens Adquiridas com RPAS. **Anais**. do XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro.

LANDIM, P.M.B.; STURARO, J.R.; MONTEIRO, R. C. **Krigagem ordinária parasituações com tendência regionalizada.** DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatématica, Texto Didático 06, 12 pp. 2002

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos.** 2. ed. São Paulo: Unesp, 2003.

LEITE, IV; ALMEIDA, A. Q de; LOUREIRO, D. C; SOUZA, R. M. S; GONZAGA, M. I. S.; PEREIRA, D. dos R.; SANTOS, A. de A. Avaliação de métodos de interpolação de dados batimétricos na barragem do rio Poxim-Açu - SE. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S.l.], v. 9, n.9, pág. 690997755, 2020.

LI, Z.; ZHU, Q.; GOLD, C. **Digital terrain modeling: principles and methodology.** [S.l.]: CRC press, 2004.

LONGHITANO, G. A. **RPASS para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, 2010, 148 p

LOPES, J. E. G.; SANTOS, R. C. P. **Capacidade de Reservatórios.** Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária – Escola Politécnica da USP. São Paulo, julho. 2002

MATOS, A. J. S., **Melhorias qualitativas na modelagem de levantamentos batimétricos em reservatórios por meio da ferramenta computacional “CAV-NH”**. Tese de doutorado, São Carlos, USP, 2012.

MELLO, C. C. S. **Aerofotogramterria com RPAS: Aplicações no monitoramento operacional de aterros sanitários**. 2020. 133 f. Dissertação. (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Curso de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais. 2020.

MESQUITA, S. M. P. **Modelação da distribuição espacial da qualidade do ar em Lisboa usando sistemas de informação geográfica**. (2009). 119 f. Dissertação (mestrado) - Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação, Universidade Nova Lisboa, Lisboa, Portugal.

MINHONI, R. T. A.; BRITO, G. M.; AZEVEDO, R. F. Uso de ecobatímetro monofeixe na determinação da curva Cota x Área x Volume do reservatório da PCH Pipoca – Minas Gerais – Brasil. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n.1, p.87-100, jan/mar 2017.

NETO, H. L. G.; DA ROCHA OLIVEIRA, C. H. Estudos Comparativos de Modelos Geoidais em Atendimento às Orientações da Agência Nacional de Águas para a Revisão das Curvas Cota x Área x Volume do Reservatório da UHE Serra da Mesa. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 1, p. 409-436, 2018.

NIETO, G. H.; MARTÍNEZ L, G. Uso de ortofotos para actualizar el mapa de uso del suelo en Guanajuato, México. **Agricultura técnica en México**, v. 33, n. 3, p. 271-280, 2007.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4 ed. São Paulo: Blucher, 2010.

OLIVEIRA, D. R.; CICERELLI, R. E.; ALMEIDA, T.; MAROTTA, G. S. Geração de modelo digital do terreno a partir de imagens obtidas por sistema de aeronaves pilotadas remotamente . **Revista Brasileira de Cartografia**, Brasil, vol.69, n.6, 1143-1151, 2017.

OLIVEIRA, R. A. **Geração de Modelos Digital de Superfície utilizando múltiplas imagens**. 2013. 133f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

PAVÃO, C. G., ROIG, H. L., MENEZES, P. H. B. J., FRANÇA, G. S. L. A., ALVES, R. R., Metodologias de interpolação espacial aplicada a dados de espessura crustal na Bacia do Paraná. In: **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, p. 3435-3442.

PEGORARO, Antoninho João; GUBIANI, Juçara Salete; PHILIPS, Jurgen Wilhelm. **VANT : Uma Ferramenta de Auxílio na Gestão Pública**. Santa Maria-RS, 2013.

PEREIRA, V. A. S., Pugliesi, E. A., Flores, E. F., Camargo, P. O., 2018. Krigagem ordinária e visualização de incertezas aplicadas no monitoramento de irregularidades ionosféricas no Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia** 70, 967- 996.

PHOTOSCAN. **Agisoft PhotoScan User Manual Professional Edition**, Version 1.0. Agisoft. 2014. Disponível em:
http://www.agisoft.ru/pdf/photoscan_pro_1_0_en.pdf.

Reis, C.P., 2013. **Simulação de fatores que afetam as predições obtidas por krigagem ordinária**. Dissertação de Mestrado em Estatística Aplicada e Biometria. Viçosa, UFV. 57 p.

RIBEIRO, J. C. **Princípios gerais de fotogrametria, fotointerpretação e sensoriamento remoto**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1995. 117 p.

ROBAINA, A. D. **Hidráulica Agrícola A – Parte I**. Apostila de aula 98 p. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Centro de Ciências Rurais. Santa Maria, RS. 2007

RODRIGUES, D. A.; GALLARDO, A. L. C. F. Vantagens da aerofotogrametria por drone na obtenção de dados topográficos em estudos de lixões e aterros sanitários. In: VII Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade. **Anais**. São Paulo, 2018.

ROSSI, R. E., DUNGAN, J. L, BECK, L. R. Kriging in the shadows: geostatistical interpolation for remote sensing. **Remote Sens. Environ.**, v.49, p 32-40,1994.

SÁ, Lucas Amorim de. **Utilização de imagens de satélite para determinação das curvas cota x área x volume do açude Itans, localizado no município de Caicó, Rio Grande do Norte, Brasil**. [2018]. 11 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Geoprocessamento Ambiental) - Universidade de Brasília, Brasília, (2018).

SALT. 2021. **SALT Engenharia e Meio Ambiente**. Disponível em:
<https://www.saltambiental.com.br/geofisica/batimetria/>. Acesso em: 16 set, 2021.

SANTOS, G. R.; OLIVEIRA, M. S.; LOUZADA, J. M.; TRANCOSO SANTOS, A. M. R. Krigagem Simple versus Krigagem Universal: qual o preditor mais preciso? **Revista Energia na Agricultura**, v. 26, n. 2, p. 49, 3 set. 2011.

SANTOS, S. **Aspectos da Navegação Interior**. Florianópolis: Labtrans/UFSC, 2014. 413p.

SATO, S. Simone. **Aplicação e Análise da Ortofoto Digital na Definição de Limites de Propriedades Imobiliárias - Estudo de Caso: Imóveis da Universidade Federal de Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996. 152 p.

SILVA, I. SEGANTINE, P. C. L. **Topografia para Engenharia: Teoria e Prática de Geomática**. 1.ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. 416p.

SILVA, S. F., FERRARI, J. L. 2011. Avaliação de interpoladores estatísticos e determinísticos na descrição batimétricas de ambientes aquáticos. **II Simpósio de Geoestatística em Ciências Agrárias**.

SOUTH. **Manual SDE 28-S**. Guangzou, China, 2013. Disponível em: <http://en.southinstrument.com/userfiles/upload/28S.pdf>. Acesso em 15 ago de 2021.

SOUZA, L. A. P. de. **Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas**. Tese (Doutorado) — Universidade de Sao Paulo, 2006.

STREET, W. **Multibeam Sonar Theory of Operation**. East Walpole, MA, 2000.

TERRA, V. S. S. **Variabilidade espacial e temporal de atributos agrônômicos em pomar de pessegueiro**. 2012. 103f. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Pelotas, 2012.

VENTURINI, A. B. **Imagens de veículos aéreos não tripulados aplicados para dimensionamento de redes de micro drenagem pluvial**. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS). Santa Maria, RS, 2015.

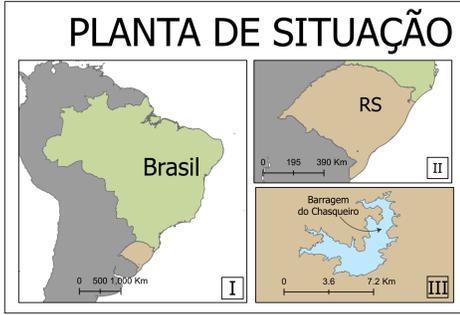
VICENTE, J. **Estudos comparativos de métodos geoestatísticos aplicados em agricultura de precisão**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Cartográfica). Presidente Prudente: Universidade Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp, 2004.

WANDERLEY, H. S.; AMORIM, R. F. C.; CARVALHO, F. O. de. Variabilidade espacial e preenchimento de falhas de dados pluviométricos para o Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 3, p. 347-354, 2012.

WILSON, J. T.; MORLOCK, S. E.; BAKER, N. T. **Bathymetric surveys of Morse and Geist Reservoirs in central Indiana made with acoustic Doppler current profiler and global positioning system technology, 1996**. [S.I.]: US Department of the Interior, US Geological Survey, 1997.

ZHANG W. et al. An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation. **Remote Sensing**, v. 8, n. 6, p. 501, 2016.

Apêndices



CUBAGEM DO RESERVATÓRIO

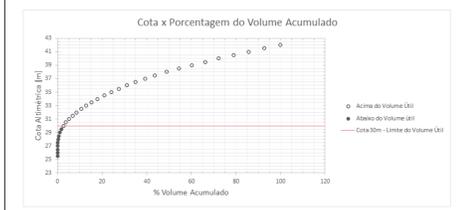
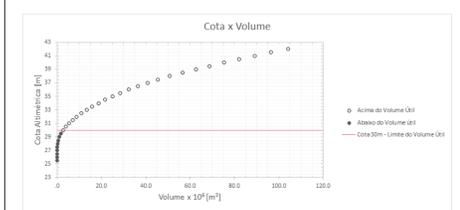
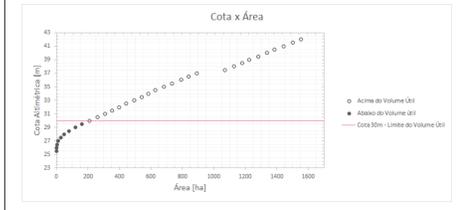


Tabela referente aos valores de cubagem do reservatório

Cota [m]	Área [m²]	Área [ha]	Volume [m³]	Volume [10 ⁶ m³]	% Volume Acumulado
42	1554967,72	1554,97	104091053,22	104,09	100,00
41,5	1501801,64	1501,80	96462556,49	96,46	92,67
41	1443261,21	1443,26	89240659,12	89,24	89,42
40,5	13869054,62	1386,91	82075381,05	82,08	78,85
40	13362873,51	1336,29	75303458,14	75,30	72,34
39,5	12819212,22	1281,92	68806102,90	68,81	66,10
39	12248147,37	1224,81	62569677,47	62,57	60,11
38,5	11782430,59	1178,24	5657167,88	56,57	54,35
38	11288410,19	1128,84	5082697,63	50,83	48,82
37,5	10716313,08	1071,63	4522810,72	45,23	43,24
37	993165,37	993,17	4074434,11	40,74	39,24
36,5	841909,33	841,91	3640790,36	36,41	34,98
36	762899,00	762,90	3232377,71	32,33	31,05
35,5	738136,90	738,14	2850511,05	28,51	27,20
35	681945,81	681,95	2496334,68	24,97	23,99
34,5	627622,22	627,62	2169928,25	21,70	20,85
34	584611,87	584,61	1870121,26	18,70	17,96
33,5	540420,27	540,42	15860075,39	15,86	15,24
33	493523,59	493,52	1327946,98	13,28	12,75
32,5	441118,55	441,12	1094659,56	10,95	10,51
32	397482,62	397,49	884970,41	8,85	8,50
31,5	352373,66	352,37	697249,01	6,97	6,70
31	306274,08	306,28	532445,63	5,33	5,12
30,5	2609504,97	260,95	389787,07	3,90	3,74
30	2087423,16	208,74	272140,86	2,73	2,62
29,5	1623749,96	162,37	1810170,20	1,81	1,74
29	1180736,52	118,07	110070,71	1,10	1,04
28,5	776126,40	77,61	61607,90	0,62	0,59
28	493907,77	49,39	30847,10	0,31	0,30
27,5	242279,49	24,23	12559,92	0,13	0,12
27	105914,18	10,59	4148,00	0,04	0,04
26,5	36765,35	3,68	8535,06	0,01	0,01
26	4607,80	0,47	524,79	0,00	0,00
25,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Título: Ortofoto da Barragem do Distrito de Irrigação do Arroio Chasqueiro 2021

Informações gerais:
Escala: 1:12000
Data: 24/10/2021
Folha: A0 1/1

Área Total: 24,5 km²
Área Total: 24.500 ha
Data: 24/10/2021

Cidade: Arroio Grande
Estado: Rio Grande do Sul
País: Brasil

Elaboração:
Leandra Martins Bressan
George Marino Soares Gonçalves
Guilherme Kruger Bartels
Janice Ferreira da Silveira
Alexandre Felipe Bruch
Angélica Cirolini
Reginaldo Bonczynski Galski



Escala: 1:12000
Sistema de Projeção Universal Transversa Mercator (UTM)
Datum planimétrico: SIRGAS2000
Coordenadas: Zona 22 Sul

Anexos

Anexo A - Cubagem da área molhada do reservatório de 2018

Cota [m]	Área [m ²]	Área [ha]	Volume [m ³]	Volume 10 ⁶ [m ³]	% volume acumulado
42	14453750	1445.38	102455189.78	102.46	100.00
41.5	13906875	1390.69	95375665.09	95.38	93.09
41	13480000	1348.00	88532216.78	88.53	86.41
40.5	12990000	1299.00	81909374.03	81.91	79.95
40	12524375	1252.44	75531052.25	75.53	73.72
39.5	12044375	1204.44	69390390.76	69.39	67.73
39	11522500	1152.25	63493603.58	63.49	61.97
38.5	11001250	1100.13	57864531.23	57.86	56.48
38	10515000	1051.50	52481839.30	52.48	51.22
37.5	10026875	1002.69	47345117.52	47.35	46.21
37	9570000	957.00	42444589.80	42.44	41.43
36.5	9036250	903.63	37790091.26	37.79	36.88
36	8414375	841.44	33426111.54	33.43	32.63
35.5	7751875	775.19	29376003.73	29.38	28.67
35	7138750	713.88	25659746.52	25.66	25.04
34.5	6530625	653.06	22243956.00	22.24	21.71
34	6056250	605.63	19097448.70	19.10	18.64
33.5	5583125	558.31	16187034.35	16.19	15.80
33	5048125	504.81	13523857.76	13.52	13.20
32.5	4484375	448.44	11138855.07	11.14	10.87
32	4033125	403.31	9013080.96	9.01	8.80
31.5	3588750	358.88	7108837.70	7.11	6.94
31	3130000	313.00	5426483.65	5.43	5.30
30.5	2631250	263.13	3983625.76	3.98	3.89
30	2134375	213.44	2794406.38	2.79	2.73
29.5	1670625	167.06	1848075.49	1.85	1.80
29	1202500	120.25	1121625.37	1.12	1.09
28.5	785000	78.50	633612.34	0.63	0.62
28	480000	48.00	319976.98	0.32	0.31
27.5	253750	25.38	139228.70	0.14	0.14
27	115000	11.50	51419.57	0.05	0.05
26.5	40625	4.06	13495.56	0.01	0.01
26	10000	1.00	1786.60	0.00	0.00
25.5	0	0	0	0.00	0.00