



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI

André Tallens de Lima Muhlethaler Chouin

Categorização de corpos hídricos da Serra de São José, através de VANT's

SÃO JOÃO DEL-REI

2024

André Tallens de Lima Muhlethaler Chouin

Categorização de corpos hídricos da Serra de São José, através de VANT's

Trabalho de Conclusão de Curso exigido
como requisito obrigatório para
Obtenção de Título de bacharel em
Geografia da Universidade Federal de
São João del-Rei

Orientador(a): Profa. Dra. Iola
Gonçalves Boechat

SÃO JOÃO DEL-REI

2024

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais, Dr. Celso Luiz Muhlethaler Chouin e Dra. Andréa Tallens Medeiros de Lima Chouin, por me proporcionarem todas as estruturas cabíveis e possíveis para que pudesse concluir meus estudos em outra cidade, aos meus irmãos Eduardo e Luiza que sempre acreditaram e estiveram do meu lado independente das mais situações adversas. Aos meus avôs Oswaldo Parobé e Luiz Francisco de Lima Filho por serem minha maior referência de como me portar, aos quais tenho saudades. Agradecer a minha vó, Emma, por me mostrar o que é ternura, carinho, escuta e compreensão, sendo meu exemplo de que devemos pensar nos outros antes de nós mesmo, por ter sido a responsável pela minha infância e ter cuidado de mim e dos meus irmãos sempre, até hoje com seus noventa e três anos.

Agradecer a Lorena de Lourdes, minha companheira de estradas e na vida, que sempre esteve ao meu lado, seja me apoiando em projetos mirabolantes ou me dando conselhos, mantendo meus pés no chão e sempre buscando o melhor. Agradecer ao meu falecido sogro por ter me ensinado muito sem nunca o ter conhecido, mas que deixou um legado de amor e ternura ao qual eu pude ter o prazer de fazer parte. À Elisa Almeida por sempre ter em todas as circunstâncias ótimos conselhos, e por ter me recebido de braços abertos em sua família. Agradecer à minha afilhada Amélia Almeida por me mostrar uma nova perspectiva da vida, um olhar doce, sensível e infantil, que por diversas vezes me fez repensar como e o que fazer, agradecer por dar outro significado à correria semanal, para aos sábados e domingos ter a certeza de poder ouvir sua risada tão gostosa.

Quero agradecer a minha orientadora Profa. Iola Gonçalves Boechat, por me inspirar e fomentar minha permanência na instituição de ensino superior, ao Prof. Björn Gucker, por ser uma referência dentro da Universidade Federal de São del Rei.

Agradecimentos ao Laboratório de Limnologia Aplicada da UFSJ, onde pude experimentar de fato o fazer ciência dentro do âmbito acadêmico, aos membros do laboratório que sempre muito atenciosos estiveram aptos a ensinar e ouvir.

Aos meus colegas de curso que me permitiram experimentar as mais diversas sensações durante esse período onde estive longe de minha terra natal, conhecendo a pluralidade cultural que existe em Minas Gerais, observando as manifestações religiosas com outros olhos perante a população mineira, agradecer aos meus colegas por instigarem cada vez mais a permanência no curso, mesmo tendo enfrentado durante a jornada um período pandêmico e em poucos anos depois uma greve, que mesmo assim não foram o suficiente para me fazer desanimar de terminar o curso.

Gostaria de agradecer aos meus amigos de infância Felipe Cordeiro e Rodrigo Calixto, por compartilharem a jornada desde meus cinco anos de idade, sendo os responsáveis por sorrisos, desabafos e ser pessoas que independente da distância e do tempo estarão ao meu lado torcendo por mim, assim como estou sempre torcendo por eles, são poucas as amizades que carregamos até o final da vida, e tenho certeza de que esses dois serão eternos na minha história.

À Wânia Longatti, por sempre estar disposta a ajudar as questões burocráticas em relação às entregas de trabalhos, datas e facilitar a compreensão de tais tramites.

Um agradecimento geral ao corpo docente da Universidade Federal de São João del Rei por serem peças fundamentais à minha formação acadêmica, mas também na minha consolidação político-social, abrindo meus olhos aos problemas nacionais e na forma como pensar geograficamente esses problemas, conciliando as questões físicas ao pensamento social, que para a geografia são de suma importância estarem lado a lado para podermos construir um mundo melhor.

“A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro”. (Albert Einstein)

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade das imagens geradas por drones de baixo custo, atualmente amplamente acessíveis no mercado, e sua aplicabilidade em pesquisas acadêmicas, especialmente nas áreas de geografia e topografia, através da análise da expansão da área da lâmina superficial da água. A análise é baseada na aquisição de imagens a partir de voos programados, realizados manualmente ao longo de três meses, com a intenção de cumprir os critérios técnicos exigidos para levantamentos topográficos precisos, acompanhando três quedas d'águas localizadas no Marco Zero em Santa Cruz de Minas, afim de quantificar a área superficial da lâmina d'água e compreender a sua expansão em relação ao regime hídrico da cidade ao longo da duração da pesquisa. O estudo foca no regime hidrológico pós-evento *El Niño* de 2024, um período crítico para a observação das variações ambientais e do impacto das mudanças climáticas. Para garantir uma alta qualidade nas imagens, são utilizados parâmetros que visam reduzir ao máximo o valor do GSD (*Ground Sample Distance*), um fator crucial para assegurar a precisão e fidelidade das imagens geradas. A escolha do GSD adequado é fundamental para garantir que as imagens representem de forma realista o terreno e seus elementos. Os resultados preliminares indicam que, com o uso de drones de baixo custo, é possível obter imagens de alta resolução em um tempo de produção reduzido, demonstrando que através do cálculo da área superficial há um aumento de 29,83% da superfície molhada, além de custos significativamente menores quando comparado a métodos tradicionais. Este avanço permite que equipes técnicas mais enxutas sejam formadas, facilitando a alocação de recursos para outras etapas do processo de pesquisa. Além disso, a flexibilidade proporcionada por esses drones amplia as possibilidades de modelagem tridimensional do sistema terrestre, beneficiando tanto a pesquisa científica quanto a atuação profissional do geógrafo no mercado de trabalho.

Abstract

The present study aims to evaluate the quality of images generated by low-cost drones, which are currently widely accessible in the market, and their applicability in academic research, particularly in the fields of geography and topography, through the analysis of the expansion of the surface water area. The analysis is based on image acquisition from programmed flights, conducted manually over three months, with the objective of meeting the technical criteria required for accurate topographic surveys. The study follows three waterfalls located at Marco Zero in Santa Cruz de Minas to quantify the surface area of the water sheet and understand its expansion in relation to the city's hydrological regime throughout the research period.

The study focuses on the hydrological regime following the 2024 El Niño event, a critical period for observing environmental variations and the impact of climate change. To ensure high image quality, parameters are applied to minimize the Ground Sample Distance (GSD) as much as possible, a crucial factor in ensuring the accuracy and fidelity of the generated images. Choosing an appropriate GSD is essential to realistically represent the terrain and its elements.

Preliminary results indicate that, with the use of low-cost drones, it is possible to obtain high-resolution images in a reduced production time. Through the calculation of the surface area, a 29.83% increase in the wetted surface was observed, in addition to significantly lower costs compared to traditional methods. This advancement allows for the formation of more streamlined technical teams, facilitating resource allocation to other stages of the research process. Additionally, the flexibility provided by these drones expands the possibilities for three-dimensional modeling of the Earth's system, benefiting both scientific research and the professional practice of geographers in the job market.

Sumário

Introdução	8
2.Objetivos	12
3.Metodologia.....	14
3.1Área de estudo.....	14
3.2 Equipamento	16
3.3 Obtenção e Processamento das imagens.....	17
4.Resultados e discussão	18
4.1 Condições atmosféricas.....	20
4.2 Análise das imagens	22
4.3 Comparação	25
5. Conclusão	27
6. Referências Bibliográficas	29

Introdução

Os regimes hídricos são regulados através dos eventos atmosféricos, configurando os ciclos hidrológicos. Na América do sul, podemos observar uma ampla diversidade nos padrões de precipitação, temperatura e orientação dos ventos, que desempenham papel fundamental no clima e sua variabilidade. As taxas de precipitação que regulam os ciclos hidrológicos têm sido um desafio para a comunidade acadêmica, uma vez que a precipitação está diretamente relacionada as condições atmosféricas obtendo-se variações significativas relacionadas as variáveis espaço-temporais, intensidade e duração (Souto et al. 2019).

A retração e expansão dos corpos hídricos são processos naturais que exercem influência significativa sobre os ecossistemas, impactando diretamente a vegetação e a distribuição da fauna. Esses fenômenos, que podem ser sazonais ou decorrentes de mudanças climáticas e atividades antrópicas, alteram a disponibilidade de água, afetando a composição e a estrutura das comunidades vegetais. Espécies adaptadas a ambientes aquáticos, como as hidrófitas, dependem da expansão dos corpos d'água para seu desenvolvimento, enquanto a retração pode favorecer espécies terrestres ou tolerantes à seca (JUNK et al., 1989, p. 112). Além disso, a dinâmica desses corpos hídricos influencia a distribuição animal, uma vez que muitos organismos dependem de habitats específicos para reprodução, alimentação e abrigo. Por exemplo, aves migratórias e anfíbios são particularmente sensíveis a essas variações, podendo sofrer declínios populacionais em cenários de retração prolongada (KEDDY, 2010, p. 78). Portanto, compreender esses processos é essencial para a conservação da biodiversidade e o manejo sustentável dos recursos hídricos.

Dentre os eventos climáticos passíveis de alteração do ciclo hidrológico, está o *El Niño*, fenômeno climático caracterizado pelo aquecimento anômalo da superfície das águas do Oceano Pacífico Equatorial. O fenômeno está associado ao enfraquecimento dos ventos alísios e à modificação da célula de Walker, provocando secas prolongadas em algumas regiões e chuvas intensas em outras, modificando a dinâmica agrícola, marinha e socioeconômica, segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM).

Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (2024), o fenômeno de *El Niño* que se iniciou em 2023 até meados de 2024 foi o responsável por uma anomalia chuvosa em todo território nacional, observando-se taxas de precipitação abaixo do esperado no estado de Minas Gerais, com um volume 180,8 milímetros a menos que o esperado para dezembro de 2023 segundo o

Instituto Nacional de Meteorologia (158,3mm precipitados em relação aos 339,1 esperados para o ano de 2023).

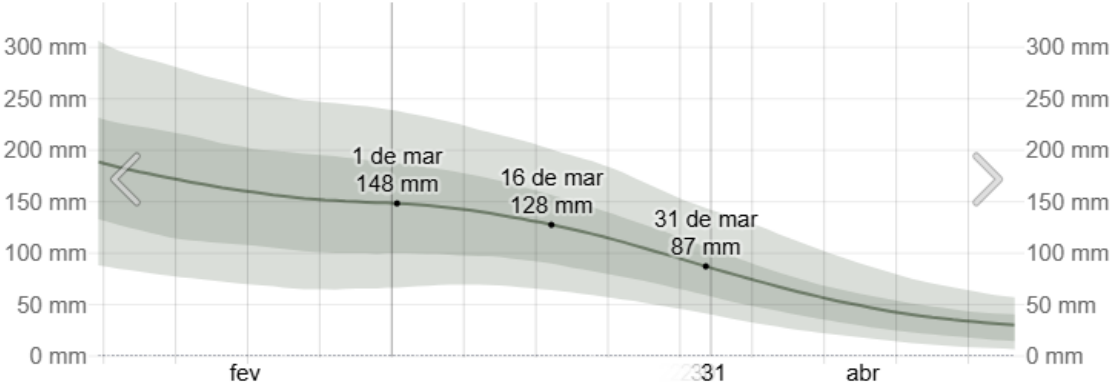


Figura 1 Chuva mensal média em março em São João del-Rei, MERRA-2

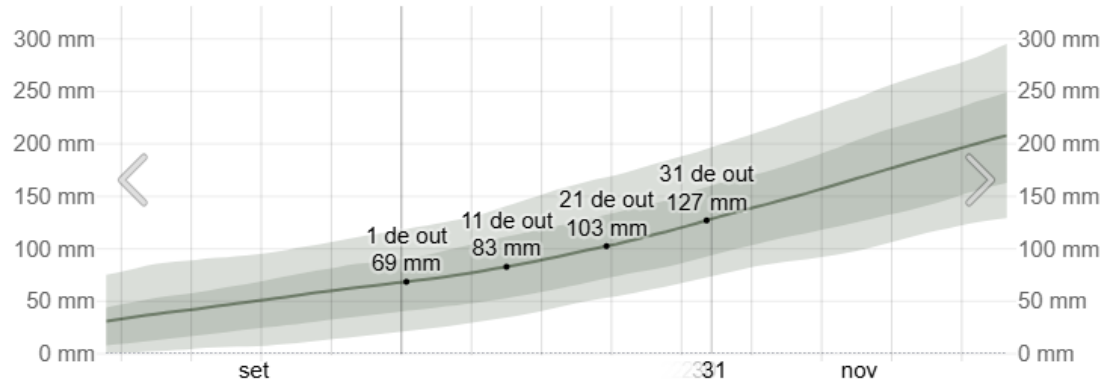


Figura 2 Chuva mensal média em março em São João del-Rei, MERRA-2

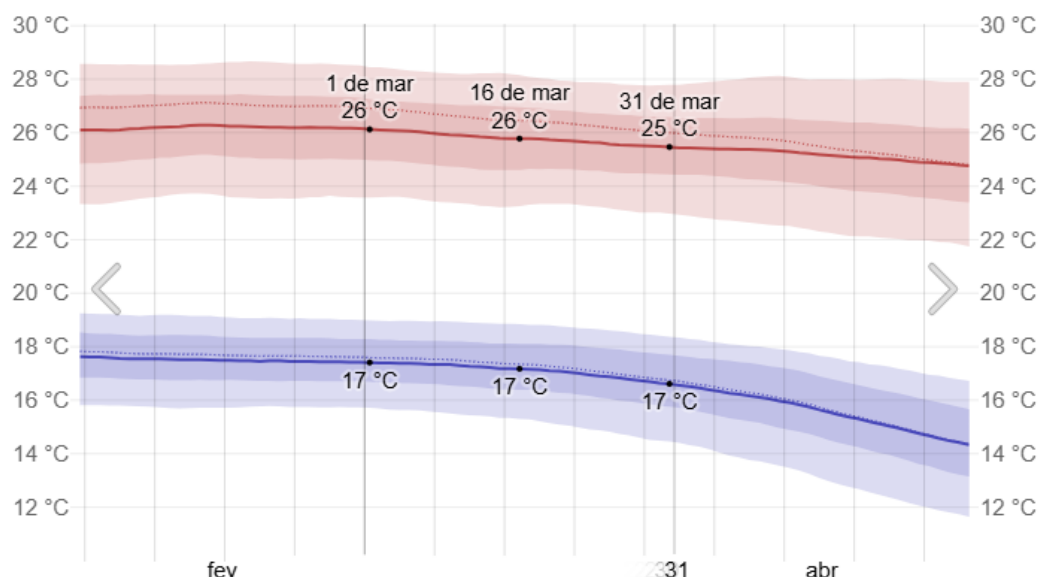


Figura 3 Temperaturas máximas e mínimas médias em março em São João del-Rei, MERRA-2

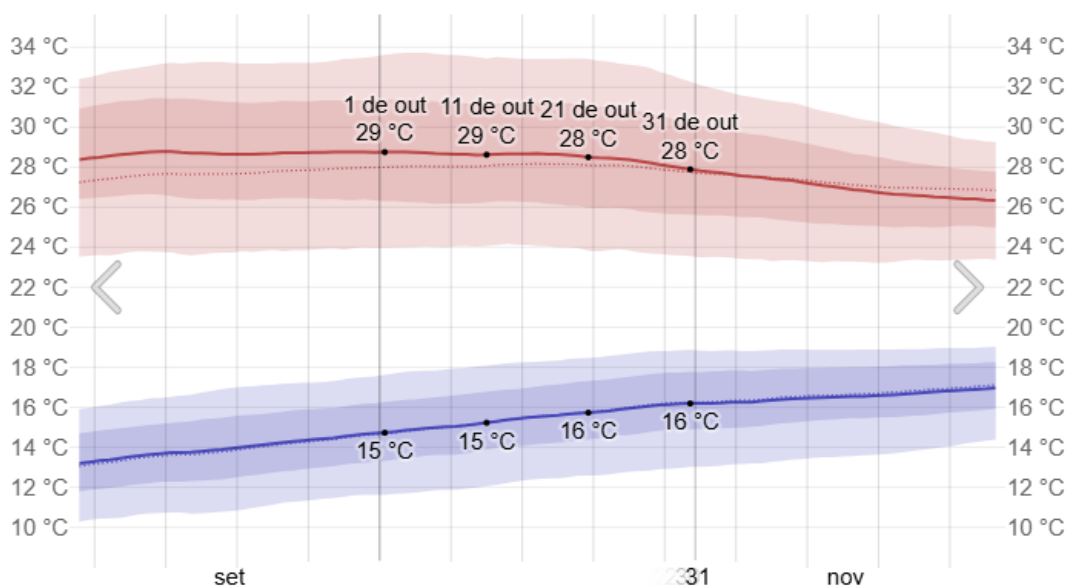


Figura 4 Temperaturas máximas e mínimas médias em outubro em São João del-Rei, MERRA-2

Os gráficos acima representam a média de precipitação e temperatura nos meses de março e outubro de 1º de janeiro de 1980 a 31 de dezembro de 2016, em que a cidade de São João del Rei está à 200 quilômetros de distância da estação meteorológica mais próxima (MERRA-2, NASA).

Devido a tal evento extremo no ano de 2023-2024 a cidade de São João del Rei passou por um período atípico de precipitação e controle térmico, impactando diretamente na vazão dos corpos hídricos na região, apresentando ao que se imagina a maior taxa de retração de rios

e riachos. A variação nos corpos pôde ser observada no volume aquoso nas quedas d'água. O trabalho em questão se prestou a utilizar drones para monitorar durante três meses o volume de três quedas na localidade do Marco Zero, na estrada real em Minas Gerais, ponto turístico que atrai tanto moradores das cidades de São João del-Rei, Tiradentes e Santa Cruz de Minas, para se refrescarem e ter um contato com a natureza, além de ser porta de entrada para a Serra de São José (formação rochosa famosa na região).

Os sistemas intermitentes, caracterizados pela alternância entre períodos de inundação e seca, desempenham um papel crucial na dinâmica ecológica dos corpos hídricos. Esses sistemas, que incluem rios, lagos e áreas úmidas temporárias, são fundamentais para a manutenção da biodiversidade, pois criam habitats únicos que suportam espécies adaptadas a condições variáveis de disponibilidade hídrica (STANFORD et al., 2005, p. 45). A intermitência promove a ciclagem de nutrientes e a formação de microhabitats, que favorecem a colonização por uma variedade de organismos, desde microrganismos até vertebrados. Por exemplo, durante os períodos de inundação, a vegetação ripária e aquática se expande, proporcionando recursos alimentares e abrigo para a fauna, enquanto a seca estimula a germinação de sementes e a recomposição de solos (LAKE, 2003, p. 23). Além disso, esses sistemas são essenciais para a conectividade ecológica, permitindo a dispersão de espécies e a troca genética entre populações. No entanto, alterações nos regimes hidrológicos, causadas por mudanças climáticas ou intervenções humanas, podem comprometer a resiliência desses ecossistemas, levando à perda de biodiversidade e à degradação de serviços ecossistêmicos (DATRY et al., 2017, p. 102). Portanto, a conservação e o manejo adequado dos sistemas intermitentes são fundamentais para garantir a sustentabilidade dos corpos hídricos e dos ecossistemas associados.

Segundo Darren Turner (2017), “os VANTs oferecem uma solução viável para o monitoramento ambiental, proporcionando dados em alta resolução que são essenciais para detectar mudanças sutis na paisagem”. Embarcados com câmeras cada vez melhores e diferentes sensores, os drones permitem um detalhamento na casa dos milímetros nos dados gerados, possibilitando assim administrar as menores mudanças na paisagem. A precisão das imagens obtidas por drones permite a análise minuciosa do terreno e da cobertura vegetal, facilitando a detecção de mudanças sutis na paisagem que indicam diferenças morfológicas e adensamento florestal, demonstrando uma possível área hídrica (COLOMINA & MOLINA, 2014). Segundo Turner et al. (2012), os drones oferecem vantagens significativas em termos de custo-benefício e segurança ao acessar áreas remotas ou perigosas, onde o levantamento terrestre seria impraticável ou arriscado.

A integração das imagens obtidas por drones com sistemas de informação geográfica (SIG) potencializa ainda mais sua utilidade na geografia ambiental. Conforme apontado por Kennet Anderson & Kevin Gaston (2013, p.138-146), essa combinação permite não apenas o mapeamento preciso das áreas hídricas, mas também a modelagem preditiva dessas regiões ambientais em curso. Isso é particularmente relevante para a gestão ambiental, pois facilita a tomada de decisões informadas com base em dados precisos e atualizados.

2.Objetivos

Neste estudo, pretendemos verificar a possibilidade da utilização de Veículos Aéreos não Tripulados (VANT's), para utilizar na área ambiental, visando custos e qualidade das imagens proporcionadas, levando em consideração os efeitos da anomalia atmosférica do *El Niño*, observando quantitativamente a massa de água superficial em três quedas d'água na Serra de São José.

O objetivo central deste trabalho é analisar e quantificar a expansão da área da lâmina superficial d'água em corpos hídricos, utilizando drones como ferramenta principal para coleta de dados de alta resolução espacial e temporal. A escolha dessa tecnologia visa mapear com precisão as variações na extensão da superfície aquática, permitindo a identificação de padrões sazonais e eventuais alterações antrópicas ou climáticas que influenciam esses processos. Além disso, busca-se correlacionar as mudanças observadas na lâmina d'água com a dinâmica da vegetação adjacente e a distribuição da fauna local, contribuindo para a compreensão dos impactos ecológicos decorrentes dessas variações. Por fim, o estudo pretende fornecer subsídios para o desenvolvimento de estratégias de monitoramento e gestão sustentável de corpos hídricos, destacando a eficácia dos drones como ferramenta inovadora em estudos hidrológicos e ambientais.

Segundo Hu Jianbo e Zhang Jian, pesquisadores vinculados ao Instituto de Pesquisa de Engenharia de Transporte Aquaviário de Tianjin e à Universidade Normal do Leste da China, respectivamente, os drones oferecem vantagens significativas em estudos ecológicos e biologia da conservação. Entre suas principais características estão a alta resolução temporal e espacial, a capacidade de operar em baixa altitude sob as nuvens e a mobilidade superior em comparação aos métodos tradicionais de sensoriamento remoto, como satélites e aeronaves tripuladas. Essas qualidades tornam os drones ferramentas indispensáveis em levantamentos frequentes de áreas específicas,

principalmente para análises de pequenos territórios ou emergências ambientais (HU; ZHANG, 2018).

Atualmente os drones vêm de fábrica equipados com sensores avançados, ao exemplo do LIDAR (*Light Detection and Ranging*), que funciona através de um cálculo baseado na velocidade dos feixes de luz emitidos pela fonte emissora embarcada e o tempo de reflexão desses feixes, possibilitando descrever o terreno mesmo em circunstâncias de matas densas (SHAN & TOTH, 2018).

Os drones são o exemplo perfeito para explicar os avanços tecnológicos e suas vantagens para a produção de dados geográficos, uma vez que a capacidade de gerar dados se torna uma questão rápida e que permite sua diversificação de uso. Drones mais simples possuem sensores RGB¹, em camadas separadas, permitindo diferentes composições de bandas para análises ambientais. Drones mais completos ainda possuem as bandas de infravermelho² e infravermelho próximo³, que dentro das composições de banda podemos aplicar cálculos como o NDVI⁴ (Índice de Vegetação Normalizada por Diferença), onde podemos analisar a saúde vegetal (COLOMINA, 2014).

Com a facilidade atual de acesso a tais ferramentas e as mudanças climáticas, foram testadas as hipóteses:

(H1): Drones comerciais servem para fins acadêmicos;

(H2): O volume de água das quedas no Marco Zero em Santa Cruz de Minas teve um aumento do mês de outubro a dezembro de 2024;

(H3): Os efeitos do *El Niño* causaram a maior retração no volume aquoso da Serra de São José.

¹ Sistema de cores baseado em três cores, sendo *Red*, *Green* e *Blue*, que em telas computadorizadas permitem criar todas as outras cores

² O infravermelho (IR) é uma radiação eletromagnética acima da luz visível (700 nm a 1 mm), usada para detectar calor e emissões térmicas.

³ O infravermelho próximo (NIR), com comprimento de onda entre 700 e 1.400 nm, é usado em análise de vegetação, sensoriamento remoto e aplicações médicas.

⁴ *Normalized Difference Vegetation Index*, calculado através da fórmula: $(NIR - RED)/(NIR + RED)$, onde NIR = infravermelho próximo e RED = banda com informações da refletância do vermelho.

3. Metodologia

3.1 Área de estudo

Foram elencadas três quedas d'água no Marco Zero, sendo as quedas Cachoeira do Bom Despacho, Cachoeira do Índio e Cadeira de Deus, na cidade de Santa Cruz de Minas, no percurso da estrada Real, região caracterizada por seu bioma de transição entre cerrado e mata atlântica.

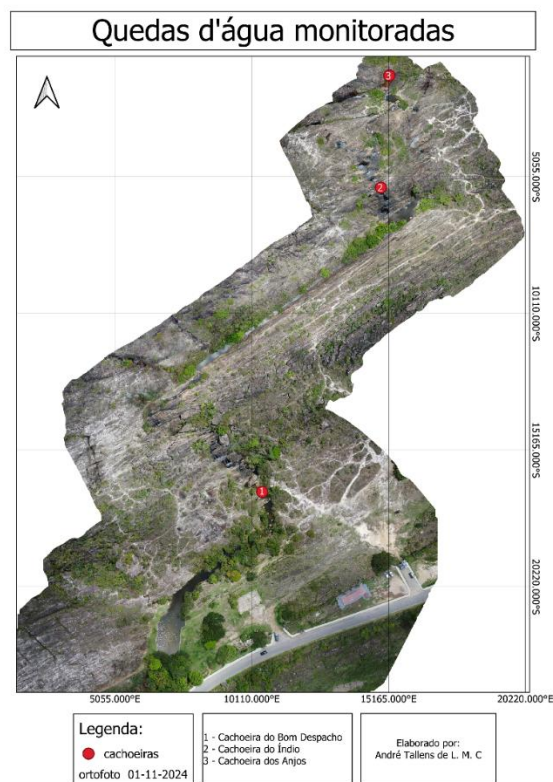


Figura 5 Mapa de localização das quedas d'água, elaborado pelo autor

Sendo assim, é um polo turístico para as cidades de São João del-Rei, Santa Cruz de Minas e Tiradentes. Um destino procurado pelos visitantes, por ter um acesso fácil, através da Estrada Real, pouca dificuldade de trilha para acesso às quedas mais acima (Cachoeira do Índio e Cadeira de Deus). A metodologia proposta envolve a utilização de drones equipados com câmeras de alta resolução para capturar imagens aéreas das áreas selecionadas. Posteriormente, essas imagens serão processadas para gerar modelos digitais e ortomosaicos.

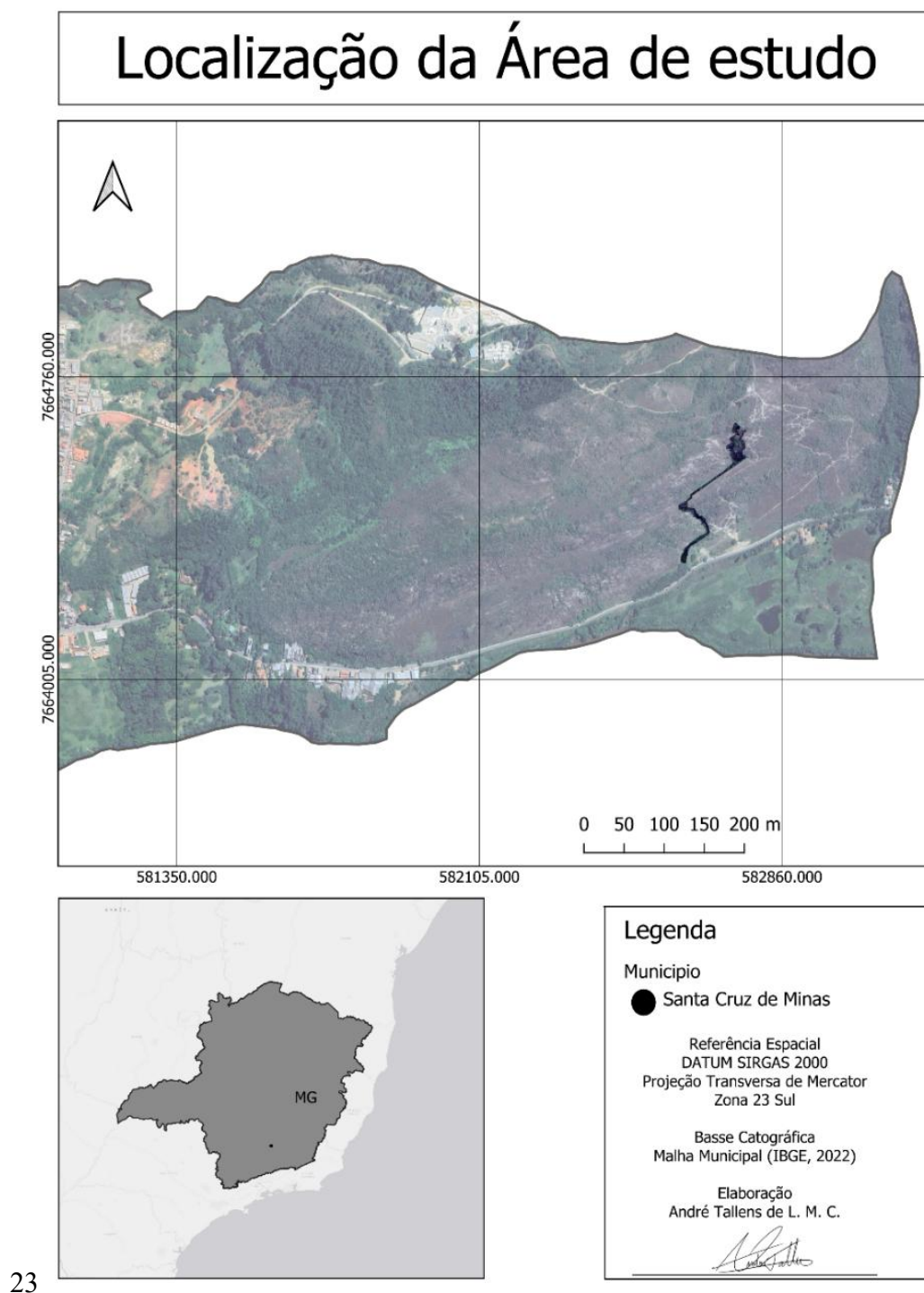


Figura 6 Mapa de localização da área de estudo, produzido pelo autor.

As quedas d'água, exercem um papel fundamental para o ciclo hidrológico, sendo regiões que permitam demonstrar a carga hidrológica disponível de forma superficial, uma vez que as variações de volume alteram a paisagem das cachoeiras – pensando na amostragem superficial das cachoeiras.

3.2 Equipamento

Existem no mercado de drones, diversas opções de equipamentos para produção de mapas, desde os mais simples aos mais complexos e as mais diversas fabricantes presentes no mercado. Buscando uma maneira acessível e capaz de produzir mapas de alta qualidade, podemos elencar a chinesa *DJI*, que lidera as vendas de VANT's para os demais usos, podendo ser usado desde o audiovisual às produções de mapeamentos para construção civil e afins. A maior diferença entre cada equipamento se dá diretamente a sua capacidade de sensores embarcados. Para a produção de mapas podemos ter uma gama de sensores embarcados, desde Lidar (*Light Detection and Ranging*), tecnologia de sensores que utiliza pulsos de luz em forma de laser para medir distâncias, ao sensor básico RGB, a diferença será a capacidade de processamento das imagens para produção de diversos produtos.

Para esta pesquisa foi utilizado um *DJI Mini 2 SE*, sendo um modelo de entrada com um valor reduzido, visando o acesso ao equipamento e a qualidade de imagem gerada. De forma positiva as imagens geradas por esse equipamento permitiram um GSD (*Ground Sample Distance*), que representa a fidedignidade dos pixels em relação a imagem em centímetros, sendo um parâmetro importante para se levar em consideração para se ter uma representação imagética mais próxima o possível do mundo real. O *DJI Mini 2 SE* está equipado com um sensor CMOS de 1 / 2,3'', *Pixels* efetivos: 12 MP, permitindo imagens de 2,7k de resolução, com um campo de visão de oitenta e três graus de angulação.

A desvantagem desse equipamento é a falta do SDK (*Software Development Kit*) liberado, que permite a *softwares* de terceiros a programar voos automáticos, levando em consideração a porcentagem de sobreposição nas imagens, tanto lateral quanto frontal. Que permite ao processamento das imagens localizar os pontos das imagens, uma vez que os drones possuem um GPS embutido, e cada imagem gerada possui uma informação de localização, sendo altimetria e planimetria. Com voos programados podemos escolher a velocidade de deslocamento da aeronave, altitude de voo e a malha das imagens para as sobreposições.

3.3 Obtenção e Processamento das imagens

Os voos foram realizados de forma manual, através das ferramentas disponíveis de fábrica pela fabricante das aeronaves. Com o auxílio do site *drone deploy* (dronedeploy.com), amplamente utilizado para planejamentos de voos automáticos, além do aplicativo *mobile* que permite o *download* dos planos de voo para realização em campo sem *internet*, foi realizado um planejamento prévio da área de estudo para compreender a forma como o voo automático se comporta.

Em campo, manteve-se à uma altitude de 120 metros (altitude máxima permitida pelas organizações de controle de tráfego aéreo, ANAC), com velocidade constante de cinco metros por segundo, afim de manter a maior sobreposição de imagens possível, dentro das configurações do aplicativo proprietário da fabricante (DJI) podemos ativar a função de obtenção de imagens automáticas, que foi configurado para a cada dois segundos a aeronave dispare a fotografia, com o *gimbal* (suporte da câmera que estabiliza e rotaciona o eixo da mesma para a horizontal e vertical), configurado para o eixo de -90° , direcionado ao solo.

Foram geradas em média novecentas imagens por voo, processadas no *software AgisoftMetashape*, que possui um plano *standard* e meios gratuitos de utilização, através de um fluxo de trabalho que pode ser automatizado pelo próprio programa.

O processamento das imagens passa pelas etapas de importação das imagens para o programa, que já gera um banco de dados interno. Após a importação das imagens temos que alinhar as imagens, por isso é importante o sistema de navegação interno dos drones, pois o programa irá alinhar e criar a nuvem densa de pontos (dados de localização das imagens obtidas). Com a nuvem densa criada, iremos gerar o DEM (Modelo Digital de Elevação) e posteriormente o *software* permite a construção do ortomosaico. Os ortomosaicos são imagens detalhadas das regiões fotografadas em alta resolução que permitem a análise criteriosa das mínimas mudanças que permitem gerar mapas comparativos.

4. Resultados e discussão

Com média de precipitação menores que as esperadas para o ano de 2024, tivemos uma alteração na quantidade na área aquosa na região de São João del-Rei. Contudo podemos aplicar de forma manual o uso de aeronaves remotamente pilotadas, que possuam uma qualidade de imagem superior às imagens de satélite, uma vez que o GSD resultante possui valores centimétricos, enquanto as resoluções das imagens de satélite possuem resolução métricas, apresentando uma margem de erro maior para se trabalhar com diferenças sutis, como a área superficial da lâmina aquosa das quedas d'água.

A redução das chuvas em Santa Cruz de Minas em 2024 pode ser atribuída a uma combinação de fatores climáticos e meteorológicos, que influenciaram o regime pluviométrico na região. Embora o fenômeno El Niño de 2023-2024 tenha sido associado ao aumento das chuvas em muitas partes do Brasil, incluindo o Sudeste, sua influência não é uniforme e pode variar dependendo de interações com outros sistemas climáticos e condições locais. Abaixo estão algumas possíveis explicações para a menor precipitação observada em Santa Cruz de Minas em 2024:

1. Variações na Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS):

A ZCAS é o principal sistema meteorológico responsável pelas chuvas intensas no Sudeste do Brasil durante o verão. Em 2024, é possível que a ZCAS tenha se posicionado de forma menos favorável para Santa Cruz de Minas, deslocando-se mais para o leste ou oeste da região. Isso pode ter reduzido a umidade e a instabilidade necessárias para a formação de chuvas persistentes na área (MARENGO et al., 2016, p. 50).

2. Interação com o Oceano Atlântico:

A temperatura do Oceano Atlântico Sul desempenha um papel crucial na distribuição das chuvas no Sudeste do Brasil. Se as águas do Atlântico Sul estiverem mais frias que o normal, isso pode inibir a formação de chuvas, mesmo durante um *El Niño*. Em 2024, é possível que as condições do Atlântico não tenham sido favoráveis para a convergência de umidade em Santa Cruz de Minas, resultando em menos precipitação (NOBRE et al., 2016, p. 115).

3. Bloqueios Atmosféricos:

A ocorrência de sistemas de bloqueio atmosférico, como altas pressões persistentes, pode impedir a chegada de frentes frias e sistemas de instabilidade à região. Esses bloqueios são comuns durante o verão e podem desviar as chuvas

para outras áreas, como o litoral do Sudeste ou o Centro-Oeste do Brasil, deixando regiões como Santa Cruz de Minas com menos precipitação (CAVALCANTI et al., 2009, p. 80).

4. Efeitos Locais e Urbanização:

Fatores locais, como o aumento da urbanização e mudanças no uso do solo, também podem influenciar o microclima da região. A expansão urbana pode alterar os padrões de circulação do ar e reduzir a umidade local, contribuindo para a diminuição das chuvas em áreas específicas, como Santa Cruz de Minas (TEIXEIRA et al., 2018, p. 34).

5. Variabilidade Natural do Clima:

O clima apresenta uma variabilidade natural que pode resultar em anos mais secos ou mais chuvosos, independentemente de fenômenos como o *El Niño*. Em 2024, é possível que Santa Cruz de Minas tenha experimentado uma flutuação natural para um período mais seco, especialmente se outros fatores climáticos não estiverem alinhados para favorecer a precipitação.

A redução das chuvas em Santa Cruz de Minas em 2024 provavelmente resultou de uma combinação de fatores, incluindo a posição desfavorável da ZCAS, condições do Oceano Atlântico, bloqueios atmosféricos e possíveis efeitos locais. Esses elementos, juntos, podem ter limitado a formação de sistemas de chuva na região, mesmo em um ano influenciado pelo *El Niño*. Para uma análise mais precisa, seria necessário avaliar dados meteorológicos específicos da região e modelos climáticos que detalhem as interações entre esses fatores.

Durante o processamento das imagens obtivemos um GSD de 0,5 cm/p em média, o que traduz, que cada pixel impresso na imagem representa cinco centímetros no mundo real.

Podemos elencar a facilidade de acesso às aeronaves remotamente pilotadas. Com valores cada mais acessíveis. Ainda existem aeronaves produzidas no exterior que possuem uma *geofence* (cerca geográfica que impede seu voo em outros países, assim impossibilitando sua importação, pois não há permissão de voo), que para essas outras aeronaves impedem o voo em outros países.

A produção de dados possui um alto número de imagens desnecessárias quando se tem um voo manual, ocasiona uma demora no processamento das imagens nos *softwares* competentes.

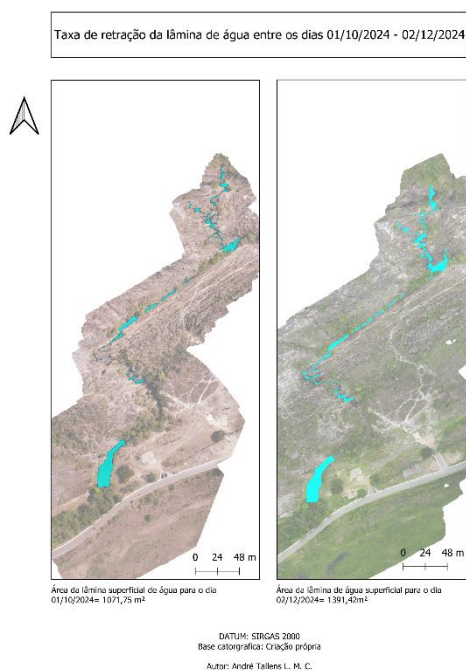


Figura 7 Da primeira medição a última, houve um crescimento de 29,83% na área da lâmina superficial d'água, Imagem gerada pelo autor

4.1 Condições atmosféricas

A diminuição da área aquosa foi causada pelo fenômeno *El Niño*. No final do ano de 2023 as condições atmosféricas apresentadas impactaram os fenômenos climáticos, trazendo impactos nos regimes pluviométricos na região sudeste.

Com o aquecimento da superfície da água da região ocidental do Pacífico, têm-se a inversão dos ventos alísios. Tais mudanças nos ventos alísios alteram a dinâmica da circulação de Walker, provocando secas prolongadas nos períodos secos e maior concentração de chuvas na América do Sul. Em adição com o fenômeno atmosférico, durante o ano de 2023 até 2024 o regime de precipitação foi muito abaixo do esperado, com médias de 193,8 mm no mês de outubro de 2024, em novembro 328,6 mm e em dezembro 229,2 mm segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) muito abaixo das médias anteriores.

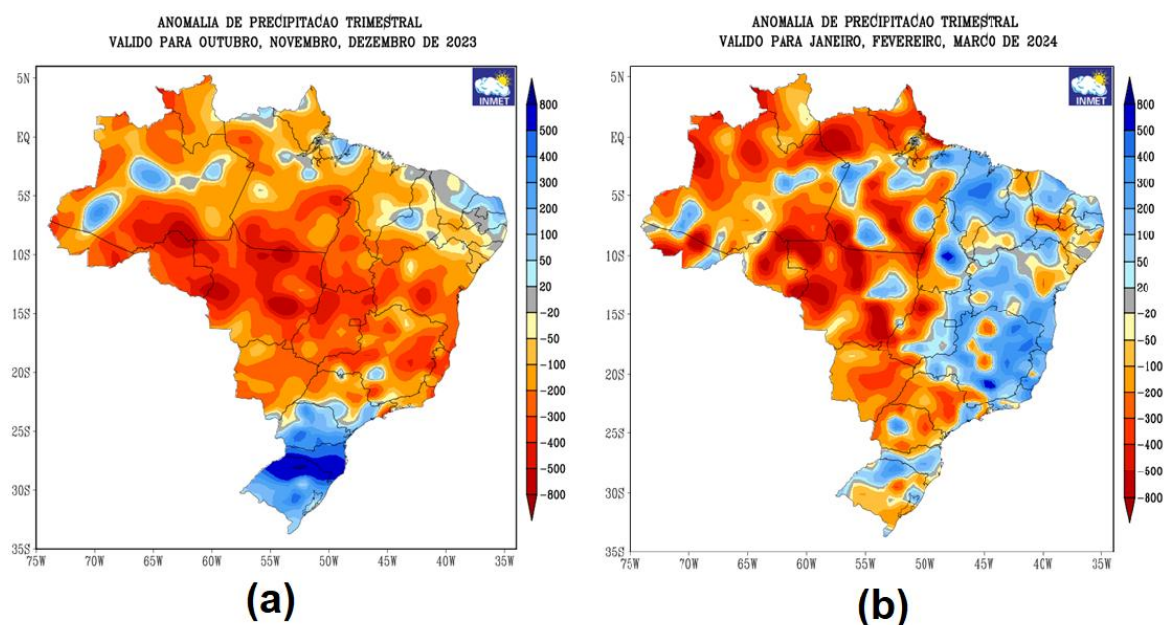


Figura 8 Anomalia de precipitação (chuva), em milímetros (mm), durante o trimestre (a) outubro-novembro-dezembro/2023 e (b) janeiro-fevereiro-março/2024. (INMET)

Segundo o INMET, a formação do fenômeno *El Niño* se inicia no segundo semestre do ano em questão, 2023, normalmente aquecendo $0,5^{\circ}\text{C}$ na superfície do Oceano Pacífico por seis meses, sem tempo definido para se manter ativo. Contudo, o fenômeno de 2023 marcou um valor surpreendente de $2,0^{\circ}\text{C}$ acima da média, perdurando no ano de 2024 com médias de $1,5^{\circ}\text{C}$.

4.2 Análise das imagens

Poço do Marco Zero

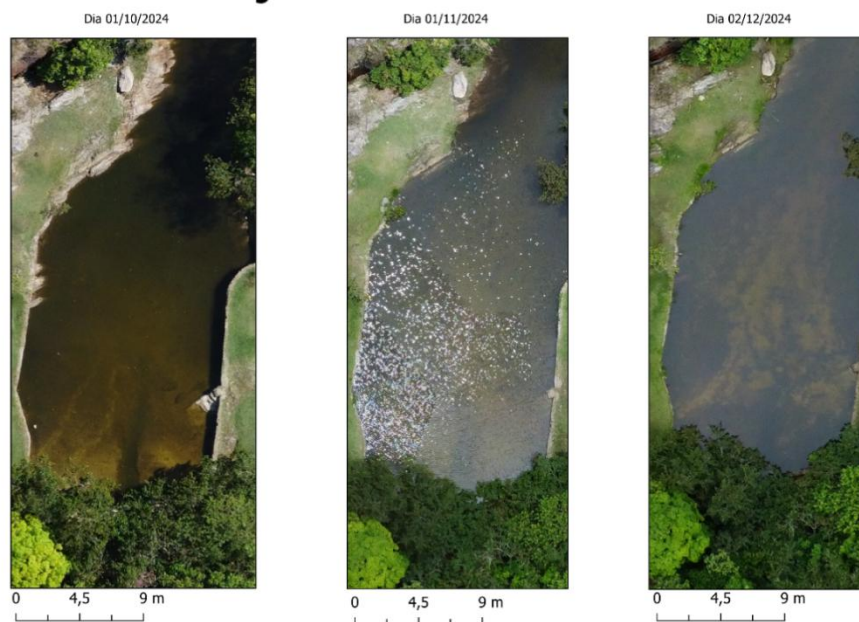


Figura 9 Mapa comparativo do poço do Marco Zero, do mês de outubro ao mês de dezembro de 2024, gerado pelo autor

A partir das imagens geradas possibilitamos observar as sutis diferenças no espelho d'água, onde no Marco Zero há uma diferença mensal perceptível. Ao exemplo da lâmina superficial da água do poço no mês de dezembro que cobre por inteiro a rocha presente na parte direita da imagem, diferente do mês de outubro, onde podemos ver claramente a rocha a mostra.

Na parcela esquerda superior do Marco Zero, podemos observar uma retração da vegetação em relação a rocha mais proeminente na paisagem, além de uma sucessão de aparentes rochas na margem esquerda da imagem.

Cachoeira do Bom Despacho

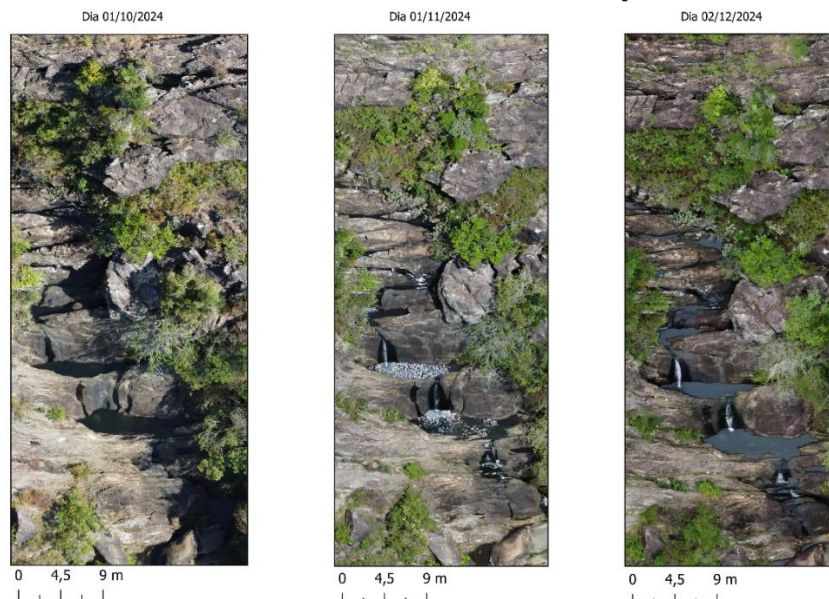


Figura 10 Mapa comparativo da Cachoeira do Bom Despacho, do mês de outubro ao mês de dezembro de 2024, gerado pelo autor

Na região da Cachoeira do Bom Despacho, podemos observar nas quedas um aumento da área superficial com o passar dos meses. Dividindo-se as quedas em três parcelas, de baixo para cima, conseguimos perceber que no mês de outubro a queda mais abaixo neste complexo, possui uma demonstração de área molhada inferior ao mês de dezembro. Podemos ainda perceber que na segunda seção de quedas d'água, no mês de outubro inexistia uma queda que nos meses subsequentes se apresentam.

Cachoeira do Índio



Figura 11 Mapa comparativo da Cachoeira do Índio, do mês de outubro ao mês de dezembro de 2024, gerado pelo autor

Podemos observar ainda no mês de outubro, que existem marcas na rocha, geradas por cianobactérias presentes na água, com uma coloração mais opaca que nos próximos meses, demonstrando que o espelho d'água possui uma espessura diferente da apresentada no mês de outubro.

Cachoeira dos Anjos

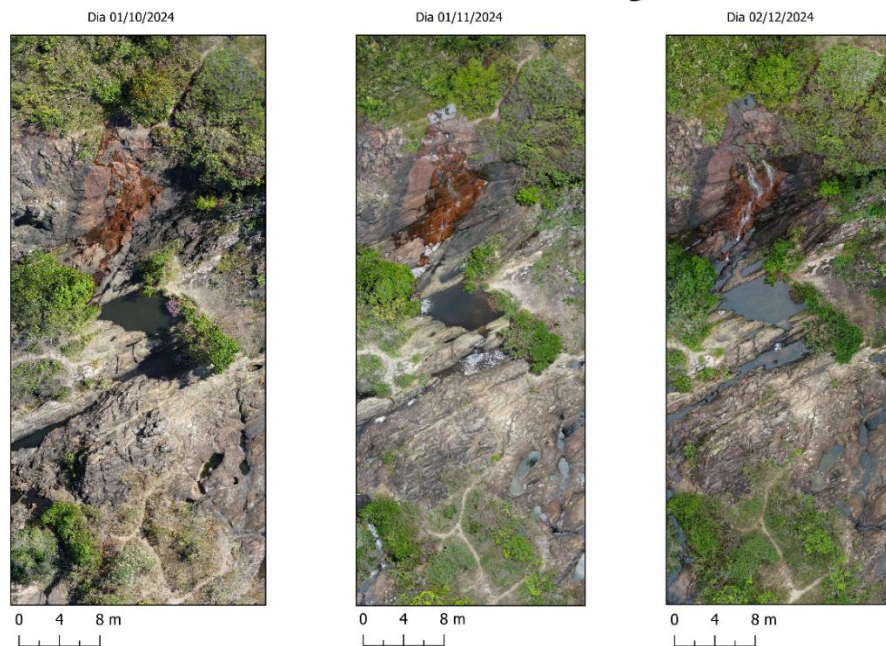


Figura 12 Mapa comparativo da Cachoeira dos Anjos, do mês de outubro ao mês de dezembro de 2024, gerado pelo autor

Já na Cachoeira dos Anjos, podemos observar majoritariamente duas colorações na rocha, uma avermelhada e uma mais escura. Além de observar que o fluxo aquoso possui uma diferença nas vazões.

4.3 Comparação

Diferente das imagens de satélites, as geradas por drones possuem maior detalhamento, possibilitando maior gama de informações, uma vez que temos dados imagéticos com valores dos pixels próximos aos valores reais. Possibilitando que voos abaixo no nível das nuvens, apontando menores taxas de obstrução na imagem, além de ter maior flexibilidade de localização, podemos voar praticamente em qualquer lugar, desde que tenha as permissões legais para realização destes voos, mantendo além de bancos de dados mais enxutos e objetivos.

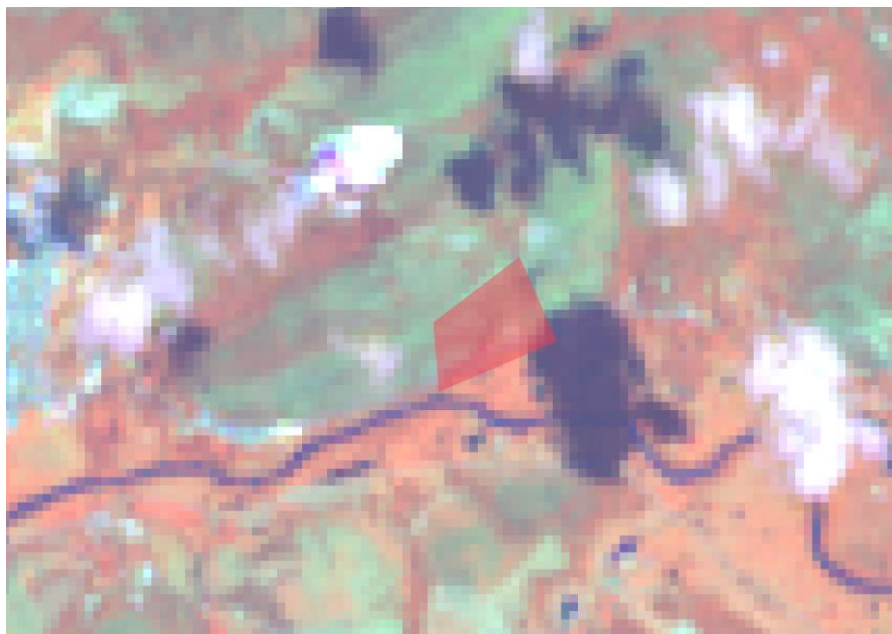


Figura 13 Imagem gerada através das bandas 5,6 e 4, para composição de bandas para Terra/Água da missão Landsat 8, no dia 27/11/2024



Figura 14 Ortofoto gerada através do Agisoft Metashape com voo no dia 01/11/2024

Ambas as figuras representam o mesmo lugar, alterando-se somente a forma de obtenção dos dados. A imagem de satélite foi obtida através do site *earthexplorer.usgs.gov*, buscando obter-se uma imagem o próximo do dia no qual o voo de drone foi executado. Podemos observar que mesmo a imagem de satélite tendo sua composição as Bandas 5, 6 e 4, que na composição de bandas representa a cobertura de Terra e Água.

Com o *DJI Mini 2 SE*, temos a obtenção de imagens no formato *jpg* (formato nativo), mas que ainda se têm a possibilidade de manipulação para modelar o mundo real, enquanto em imagens geradas por satélites obtemos arquivos no formato TIF (*Tagged Image File Format*) separados por bandas, que podem ser rearranjadas através de diferentes composições para determinadas pesquisas. Alguns drones mais avançados possuem diferentes sensores que exportam dados em diferentes formatos de dados, que são separados em bandas, permitindo também diferentes composições de banda para diferentes ocasiões.

5. Conclusão

Com os avanços tecnológicos pungentes, devemos atualizar nossas ferramentas laborais uma vez que a possibilidade de atuação no mercado de trabalho passar pela atualização da capacidade dos profissionais envolvidos.

Países como a China já se utilizam destes meios remotamente manipulados, fornecendo ao piloto envolvido uma segurança maior para acompanhamento das mudanças na paisagem, com pouca ou nula exposição em determinadas áreas, como regiões com suscetibilidade de rompimento, como em áreas de voçorocamento⁵ ou ação erosiva intensa.

As imagens geradas possuem resoluções cada vez melhores. Podemos observar as sutis mudanças no corpo aquoso através das menores medidas, sendo a representação por pixel do mundo real em um modelo com valores inferiores a diferença métrica e possibilita ao pesquisador que se utiliza da modelagem terrestre melhores ferramentas para seu serviço. Temos que elencar que, assim como toda ferramenta, o drone tem suas limitações, uma vez que com a popularização dos drones, têm-se a demanda legal, que impedem o voo ou restringe as

⁵ Processo de abertura de voçorocas no solo, causadas por ações erosivas tanto antrópicas, quanto de forma natural.

altitudes do mesmo, além das condições temporais que podem ser um fator limitante à produção de dados geográficos, uma vez que em dias chuvosos torna-se impossível o voo.

O volume de dados gerados pode variar de acordo com o critério técnico adotado pelo pesquisador, quando em voo manual obteve-se médias de novecentas fotos, enquanto em voos automáticos temos um volume menor, que de forma direta impacta no tempo de produção, que ainda assim se torna menor que das formas topográficas antigas (com o uso de estações estacionárias). Com as demandas atuais cada vez mais necessárias de dados ágeis, o tempo de produção com drones comerciais, ao exemplo do equipamento utilizado nesta pesquisa (DJI mini 2 SE), tornam-se fortes aliados com valores inferiores aos pesquisadores que entendem das dinâmicas em tempos cada vez mais reduzidos.

Dentro da proposta da pesquisa, pôde-se observar as mudanças em centímetros nas quedas propostas, as três quedas possuem interligação aquosa, onde sejam um sistema interligado, a menor alteração no volume da primeira queda, corrobora com a diminuição das cachoeiras subsequentes. No final do ano de 2023 e ao longo do ano de 2024, o sistema terrestre passou por um aquecimento da superfície do oceano Pacífico acarretando secas prolongadas e divergentes ciclos hídricos, apresentando em outras regiões maior volume pluviométrico.

Durante o período de acompanhamento, pudemos analisar nos meses de outubro, novembro e dezembro as alterações nas quedas através das imagens geradas pelo drone, apresentando ao longo dos meses supracitados um aumento significativo na quantidade de água nas quedas, de forma visualmente perceptíveis, através das marcas geradas através do sistema aquoso, sendo responsável pela presença de cianobactérias, pequenos animais e impacto direto na vegetação local.

6. Referências Bibliográficas

Souto, Jefferson, Norma Beltrão, and Ana Teodoro. "Performance of remotely sensed soil moisture for temporal and spatial analysis of rainfall over Sao Francisco River basin, Brazil." *Geosciences* 9.3 (2019): 144.

HU, Jianbo; ZHANG, Jian. 无人机遥感在生态学中的应用进展 (Avanços na aplicação da tecnologia de sensoriamento remoto por drones em ecologia). *Acta Ecologica Sinica*, v. 38, n. 1, p. 20-30, jan. 2018. Disponível em: <http://www.ecologica.cn>. Acesso em: 24 dez. 2024.

JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. In: DODGE, D. P. (Ed.). *Proceedings of the International Large River Symposium*. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, 1989. p. 110-127.

KEDDY, P. A. *Wetland Ecology: Principles and Conservation*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. p. 75-85.

Shan, J., & Toth, C. K. (Eds.). (2018). *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing* (2nd ed.). CRC Press.

DATRY, T.; BONADA, N.; BOULTON, A. J. *Intermittent Rivers and Ephemeral Streams: Ecology and Management*. Academic Press, 2017. p. 99-110.

LAKE, P. S. Ecological effects of perturbation by drought in flowing waters. *Freshwater Biology*, v. 48, n. 7, 2003. p. 20-30.

STANFORD, J. A.; WARD, J. V.; LISS, W. J. et al. A general protocol for restoration of regulated rivers. *Regulated Rivers: Research & Management*, v. 12, n. 4-5, 2005. p. 43-50.

Turner, D., Lucieer, A., & Watson, C. (2019). An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution UAV imagery based on structure from motion photogrammetry. **Remote Sensing**, 5(1), 1-14.

Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 92(1), 79-97

Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92(1), 79-97.

Nex F., & Remondino F. (2014). UAV for 3D mapping applications: A review. *Applied Geomatics*, 6(1), 1-15.

Paneque-Gálvez J., McCall M.K., Napoletano B.M., Wich S.A., & Koh L.P. (2014). Small Drones for Community-Based Forest Monitoring: An Assessment of Their Feasibility and Potential in Tropical Areas. *Forests*, 5(6), 1481-1507.

Turner D., Lucieer A., Watson C.S., & Irvine M.H.B. (2021). UAV photogrammetry for the assessment of erosion rates on coastal cliffs: An example from the UK south coast. *Earth Surface Processes and Landforms*.

Zhang X., Wu B., Yang P., Han Y., & Ma Y. (2022). Applications of UAV Remote Sensing Technology in Precision Agriculture and Environmental Monitoring: A Review of the Current Status and Future Prospects in China. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*

Turner, D., Lucieer, A., & Watson, C. (2020). An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagery based on Structure from Motion (SfM) point clouds. *Remote Sensing of Environment*.

Duffy, J.P., Cunliffe, A.M., DeBell, L., Sandbrook, C., Wich, S.A., & Shutler J.D. (2018). Location models for lightweight unmanned aerial vehicles in environmental research: Current applications and future directions.

Panagiotidis D., Abdollahnejad A., Surový P., & Chiteculo V. (2017). Determining Tree Height and Crown Diameter from High-Resolution UAV Imagery.

Wallace L., Lucieer A., Watson C.S., Turner D.J.H.J.R.S.o.E.P.I.F.a.C.M.T.f.U.A.V.I.B.S.a.D.C.T.L.C.R.S.o.E.R.S.o.E.V.(2016).

Anderson K., Gaston K.J. (2013). Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11(3):138-146.

Anderson, K., & Gaston, K.J. (2013). Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. **Frontiers in Ecology and the Environment**, 11(3), 138-146.

Colomina, I., & Molina P., 2014. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Turner D., Lucieer A., Watson C., 2012. An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution UAV imagery based on structure from motion (SfM) point clouds. *Remote Sensing*. Whitehead K., Hugenholtz C.H., 2014. Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (UASs), part 1: A review of progress and challenges. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*. Wallace L., Lucieer A., Watson C., Turner D., 2016. Development of a UAV-LiDAR System with Application to Forest Inventory. *Remote Sensing*.

Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 92(1), 79-97.

Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79-97.

James, M. R., Robson S., d'Oleire-Oltmanns S., Niethammer U. (2020). Optimising UAV topographic surveys processed with structure-from-motion: Ground control quality and quantity. *Geomorphology* 280:112-126.

Pajares, G. (2015). Overview and Current Status of Remote Sensing Applications Based on Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(4), 281–330.

Turner, D., Lucieer, A., & Watson, C. (2012). An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagery based on structure from motion (SfM) point clouds. *Remote Sensing*, 4(5), 1392-1410.

Turner, D., Lucieer, A., & Watson, C. (2018). An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution UAV imagery: Application to coastal geomorphic monitoring. **The International Journal of Remote Sensing**, 39(10), 3320-3339.

Turner, D., Lucieer, A., & Watson, C. (2018). Development of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Hyper Resolution Vineyard Mapping Based on Visible Spectrum Imaging. *Sensors*, 18(1), 84.

Turner, D., Lucieer, A., & Watson, C. (2021). An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagery. *Remote Sensing of Environment*, 124(1), 1-11.

Wallace, L., Lucieer, A., Malenovský, Z., Turner D., & Vopěnka P. (2016). Assessment of forest structure using two UAV techniques: A comparison of airborne laser scanning and structure from motion (SfM) point clouds. *Forests* 7(3):62.

Zhang, J., Huete, A., Didan, K., & Miura, T. (2020). Vegetation index saturation problem in the retrieval of leaf area index and fraction of absorbed photosynthetically active radiation from MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 84(3), 385-398.

Anderson, K., & Gaston, K.J. (2013). Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(3), 138-146.

Colomina I., & Molina P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92:79-97.

Pierre, L., Smith, R., & Jones, M. (2019). Assessing environmental impacts using drone-based remote sensing technologies: A case study in the Amazon rainforest. *Journal of Environmental Management*, 232(1), 123-134.

Turner, D., Lucieer, A., & Watson, C. (2012). An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution UAV imagery based on structure from motion (SfM) point clouds. *Remote Sensing*, 8(9), 709.

Turner, D., Lucieer, A., & Watson, C. (2020). Unmanned Aerial Vehicle (UAV) remote sensing for hyperspatial terrain mapping of Antarctic moss beds based on Structure from Motion (SfM) photogrammetry. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 38(1), 79-97.

Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.

Nex, F., & Remondino, F. (2014). UAV for 3D mapping applications: A review. *Applied Geomatics*.

Turner, D., Lucieer, A., & Watson, C. (2017). Development of an unmanned aerial vehicle (UAV) for hyper resolution vineyard mapping based on visible and near-infrared imaging. *Sensors*.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 75-85.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; ALVALÁ, R. C. S. et al. Mudanças Climáticas e Extremos de Chuva no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 1, 2016. p. 40-55.

NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A.; SELUCHI, M. E. et al. Impactos do El Niño no Brasil. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2016. p. 110-120.

TEIXEIRA, M. S.; SATYAMURTY, P.; CANDIDO, L. A. Urbanização e Mudanças Climáticas Locais: Estudo de Caso em Minas Gerais. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 22, 2018. p. 30-40.