

A large, abstract graphic composed of a grid of squares in various shades of gray, black, and white, resembling a pixelated map or a data visualization, is centered on the page. The text of the program title is overlaid on this graphic.

**PROGRAMA DE  
PÓS-GRADUAÇÃO  
EM GEOCIÊNCIAS  
E MEIO AMBIENTE**

---

**Hidrologia superficial e subsuperficial em uma área úmida  
integrando imagens RPAS e medidas “in situ”**

**FELIPE QUEIROZ MIANO**

---

Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Campus de Rio Claro

Rio Claro - SP  
2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“Júlio de Mesquita Filho”  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Campus Rio Claro

FELIPE QUEIROZ MIANO

## **Hidrologia superficial e subsuperficial em uma área úmida integrando imagens RPAS e medidas “*in situ*”**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. César Augusto Moreira

Rio Claro – SP  
2024

Q3h

Queiroz Miano, Felipe

Hidrologia superficial e subsuperficial em uma área úmida integrando imagens RPAS e medidas "in situ" / Felipe Queiroz Miano. -- Rio Claro, 2024

123 p. : il., tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro  
Orientador: César Augusto Moreira

1. Monitoramento. 2. Aerolevantamento. 3. Condutividade hidráulica. 4. Escassez hídrica. 5. Zonas úmidas. I. Título.

## **IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA**

O presente estudo tem como contribuição apresentar os mecanismos que atuam na manutenção de uma área úmida geograficamente isolada (AUGI) a partir de novas tecnologias de monitoramento, como por exemplo aereolevanteamento com uso de RPAS. Os resultados sobre a importância da área úmida em recarga de aquíferos e disponibilidade hídrica podem ser utilizados por gestores para abastecimento público de água, afim de auxiliar na garantia da disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos, presente na ODS nº 6, que versa sobre Água Limpa e Saneamento e da ODS nº 15 que trata da Vida sobre a Terra.

## **POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH**

The present study aims to contribute by presenting the mechanisms that act in the maintenance of a geographically isolated wetland area (AUGI) based on new monitoring technologies, such as for example aerial survey using RPAS. The results on the importance of the wetland in aquifer recharge and water availability can be used by managers for public water supply in order to assist in ensuring the availability and sustainable management of water and sanitation for all, present in SDG nº 6, which deals with Clean Water and Sanitation, and SDG nº 15 that addresses Life on Land.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“Júlio de Mesquita Filho”  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Campus Rio Claro

FELIPE QUEIROZ MIANO

Hidrologia superficial e subsuperficial em uma área úmida integrando imagens  
RPAS e medidas “*in situ*”

Dissertação de Mestrado apresentada  
ao Instituto de Geociências e Ciências  
Exatas do Campus de Rio Claro, da  
Universidade Estadual Paulista “Júlio  
de Mesquita Filho”, como parte dos  
requisitos para obtenção do título de  
Mestre em Geociências e Meio  
Ambiente.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. César Augusto Moreira  
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Profa. Dra. Vania Silvia Rosolen  
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. Manuel Eduardo Ferreira  
IESA/UFG/Goiânia (GO)

Conceito: Aprovado.

Rio Claro – SP, 06 de setembro de 2024.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradeço primeiramente à minha família por todo suporte e incentivo concedido ao longo destes anos. A minha parceira Beatriz, pelo amor, paciência e pelas vibrações a cada conquista.

Ao Prof. Dr. César Augusto Moreira, orientador e amigo, por sua dedicação ao ensino e à pesquisa, pelo auxílio desde as primeiras aquisições em campo até a conclusão do trabalho e pela confiança depositada em mim ao longo destes anos. À querida Profa. Dra. Vânia Silvia Rosolen, pelos auxílios em campo e pelas discussões pedológicas que muito contribuíram para o desenvolvimento da pesquisa e ao Sami pelas conversas de corredor, pelo auxílio nos trabalhos de campo e pela parceria.

Aos meus amigos e, em especial, aos que brilham longe (*in memoriam*), mas que com certeza enviaram boas energias e vibraram a cada conquista: Aninha e Doug (Bruno Coury).

## RESUMO

As áreas úmidas são sistemas de alta complexidade e sensibilidade que recobrem cerca de 20% do território nacional e apresentam funções importantes para o armazenamento, fornecimento de água e recarga de aquíferos. Estudos apontam que, a partir de 2024, a Região Metropolitana de Piracicaba (RMP) estará em iminência de uma crise hídrica e isso ocorre quando toda a água disponível na bacia hidrográfica é utilizada dentro dela. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), o índice de disponibilidade hídrica para vida em comunidade deve ser igual ou maior a 2.500 m<sup>3</sup>/hab.ano, porém a bacia do rio Piracicaba apresenta índice crítico com disponibilidade hídrica inferior a 500 m<sup>3</sup>/hab.ano. Neste contexto de escassez hídrica, o estudo tem como objetivo compreender a dinâmica superficial local de uma área úmida fechada localizada em Piracicaba/SP e avaliar a influência de variáveis climáticas e geológicas como pluviosidade, taxa de evapotranspiração e permeabilidade do substrato, e suas consequências na disponibilidade hídrica e na contribuição da recarga de aquíferos. Para o monitoramento da área úmida e acompanhamento da lâmina d'água em superfície, foram realizados aerolevantamentos mensais de alta resolução espacial com RPAS do tipo multirotor e sensor RGB, durante o período de um ano, e; em conjunto, foram realizados o ensaio de permeabilidade (k), a identificação do perfil de solo e a tomada dos níveis de água subsuperficiais por meio de poços implementados no limite da área de estudo. Como resultado, a Formação Irati presente na região é determinante para existência da área úmida, devido à baixa permeabilidade do solo ( $2,65 \cdot 10^{-5} \text{ cm/s}$ ), assim como o índice pluviométrico (1.036,2 mm) e a evapotranspiração (1.307,1 mm) contribuem diretamente para a evolução da lâmina d'água superficial com amplitude de 60.995,62 m<sup>3</sup> (equivalente a 16,2 piscinas olímpicas) e regulam o nível d'água em subsuperfície e nas vertentes da bacia de contribuição, que são responsáveis pela manutenção da lâmina d'água no interior da área úmida ao longo do ano.

**Palavras-chave:** Monitoramento; Aerolevantamento; Condutividade hidráulica; Escassez hídrica.

## ABSTRACT

Wetlands are highly complex and sensitive systems that cover around 20% of the national territory and play an important role in storing, supplying water and recharging aquifers. Studies indicate that as of 2024, the Metropolitan Region of Piracicaba (MRP) will be on the verge of a water crisis, which occurs when all the water available in the watershed is used within it. According to the World Health Organization (WHO), the water availability index for community life must be equal to or greater than 2,500 m<sup>3</sup>/hab.year, however the Piracicaba river basin has a critical index with water availability lower than 500 m<sup>3</sup>/hab.year. In this context of water shortage, the study aims to understand the local surface dynamics of a closed wetland located in Piracicaba/SP and evaluate the influence of climatic and geological variables such as rainfall, evapotranspiration rate and substrate permeability, and their consequences on water availability and the contribution to aquifer recharge. To monitor the wetland and the water depth on the surface, monthly aerial surveys of high spatial resolution were carried out using a multicopter RPAS and RGB sensor, over a period of one year, and together, the permeability test was carried out (*k*), identification of the soil profile and measurement of subsurface water levels through wells implemented on the edge of the study area. As a result, the Irati Formation present in the region is decisive for the existence of the wetland due to the low permeability of the soil ( $2,65.10^{-5} \text{ cm/s}$ ), as well as the rainfall index (1.036,2 mm) and evapotranspiration (1.307,1 mm) directly contribute to the evolution of the surface water depth with an amplitude of 60,995.62 m<sup>3</sup> (equivalent to 16.2 Olympic swimming pools) and regulate the water level in the subsurface and on the slopes of the contribution basin, which are responsible for maintaining the water depth inside the wetlands throughout the year.

**Keywords:** Monitoring; Aerial survey; Hydraulic conductivity; Water shortage.

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema representativo dos diferentes tipos de áreas úmidas. ....	18
Figura 2 - Conexões hidrológicas em áreas úmidas. ....	19
Figura 3 - Posição das áreas úmidas em relação ao nível freático a) acima da superfície; b) abaixo do nível freático. ....	20
Figura 4 - Sobreposição longitudinal e lateral durante aquisição fotogramétrica. ....	22
Figura 5 - Espectro eletromagnético. ....	24
Figura 6 - Plataformas de Sensoriamento Remoto. ....	26
Figura 7 - Planos triaxiais (RPAS). ....	28
Figura 8 - Telemetria de voo na área do estudo. ....	28
Figura 9 - Demonstrativo das coordenadas georreferenciadas na imagem DJI_0014. ....	29
Figura 10 - Classificação RPAS (DECEA). ....	30
Figura 11 - Certidão de Drone – SISANT/ANAC. ....	32
Figura 12 - Comparação entre as plataformas do SR. ....	35
Figura 13 - Diferença entres MDS e MDT. ....	38
Figura 14 – Triangulação de Delaunay sem textura (a) e com textura; e (b) gerados no <i>software</i> Agisoft Metashape. ....	40
Figura 15 - Volume por seções transversais. ....	41
Figura 16 – Seção mista. ....	42
Figura 17 – Seções horizontais. ....	43
Figura 18 – Diagrama representativo entre os modelos digitais de terreno utilizados para cálculo de volume. ....	44
Figura 19 – Mapas de situação e localização da área de estudo. ....	46
Figura 20 – Bacia Produtora de Água Corumbataí/Tamandupá. ....	46
Figura 21 - Mapa geológico do município de Piracicaba com destaque para a área de estudos. ....	47
Figura 22 - Modelo digital de elevação (MDE). ....	49
Figura 23 - Mapa Pedológico do município de Piracicaba – SP. ....	50
Figura 24 - UGRHI – 05. ....	52
Figura 25 - DJI Phantom 4 Advanced. ....	55

Figura 26 – Sobreposição das cenas após processamento de dados. (a) bacia de contribuição e (b) área úmida.....	55
Figura 27 – <i>Software Drone Deploy</i> com planos de voo da bacia de contribuição (a) e parâmetros de voo (b).....	56
Figura 28 – Plano de voo área úmida. ....	57
Figura 29 – Distribuição espacial dos poços de monitoramento e trado manual. ....	59
Figura 30 – Tradagem dos poços de monitoramento.....	60
Figura 31 – Canos de PVC com furos.....	60
Figura 32 – Ensaio de tubo aberto. ....	61
Figura 33 – Uso do <i>Bailer</i> (A) e retirada de volume d'água (B).....	63
Figura 34 – Aquisição de dados da coluna d'água.....	64
Figura 35 – Aquisição das coordenadas precisas dos PM.....	65
Figura 36 – Fragmento de sílex.....	76
Figura 37 – Curva de recuperação após ensaio de tubo aberto com destaque ao poço 4. ....	78
Figura 38 – Volume de precipitação e evapotranspiração na área úmida (mm). ....	80
Figura 39 - Precipitação e evapotranspiração médias (período de 21 anos) e precipitação e evapotranspiração entre os anos de 2022 e 2023 com valores em mm. ....	81
Figura 40 - Monitoramento mensal e acompanhamento da lâmina d'água por RPAS. ....	84
Figura 41 - Volume d'água em superfície (m <sup>3</sup> ). ....	87
Figura 42 – Variação média mensal do nível freático em mm.....	88
Figura 43 – Efeitos da sazonalidade climática na área úmida.....	90
Figura 44 – Integração entre a variação média do nível freático, precipitação, a evapotranspiração mensal em mm e o volume d'água em superfície (m <sup>3</sup> ). ....	92
Figura 45 – Esquema ilustrativo do perfil da área úmida em período chuvoso (A) e durante a estiagem (B).....	94
Figura 46 – Lâmina d'água em superfície no início e final do ciclo. ....	95

## INDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação e importância de áreas úmidas. ....	17
Tabela 2 - Comportamento Espectral no Visível (RGB). ....	36
Tabela 3 – Frequência de leituras do nível dinâmico. ....	63
Tabela 4 - Descrição macro morfológica dos perfis de solo. ....	66
Tabela 5 – Coordenadas UTM da extremidade superior dos poços e profundidade de perfuração. ....	77
Tabela 6 – Ensaio de permeabilidade. ....	79
Tabela 7 – Valores típicos do coeficiente de permeabilidade (K).....	79
Tabela 8 - Variações da precipitação (PPT) e evapotranspiração (ETP) entre o período estudado e a média climatológica, em mm. ....	82
Tabela 9 – Monitoramento mensal do NA dinâmico e valores médios da coluna d'água, em mm.....	88

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>GERAL</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>ESPECÍFICOS</b> .....	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>ÁREAS ÚMIDAS</b> .....	<b>17</b>
3.1.1	ÁREAS ÚMIDAS GEOGRAFICAMENTE ISOLADAS .....	18
3.1.2	CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DE ÁREAS ÚMIDAS .....	19
<b>3.2</b>	<b>FOTOGRAMETRIA DIGITAL</b> .....	<b>21</b>
3.2.1	AEROFOTOGRAMETRIA .....	21
3.2.2	SISTEMA DE AERONAVE REMOTAMENTE TRIPULADA (RPAS, EM INGLÊS) ...	27
3.2.3	OPERAÇÃO LEGAL .....	30
3.2.4	POSICIONAMENTO GEODÉSICO.....	32
3.2.5	AQUISIÇÃO DE DADOS.....	34
3.2.6	PROCESSAMENTO DE DADOS.....	37
3.2.7	CÁLCULO DE VOLUME (LÂMINA D'ÁGUA).....	39
<b>4</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>45</b>
<b>4.1</b>	<b>GEOLOGIA</b> .....	<b>47</b>
<b>4.2</b>	<b>GEOMORFOLOGIA</b> .....	<b>48</b>
<b>4.3</b>	<b>PEDOLOGIA</b> .....	<b>50</b>
<b>4.4</b>	<b>HIDROGRAFIA</b> .....	<b>51</b>
<b>4.5</b>	<b>CLIMA</b> .....	<b>52</b>
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>54</b>
<b>5.1</b>	<b>LEVANTAMENTO AÉREO</b> .....	<b>54</b>
<b>5.2</b>	<b>VARIÁVEIS CLIMÁTICAS</b> .....	<b>58</b>
<b>5.3</b>	<b>DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DO PERFIL DE SOLO E ENSAIO DE PERMEABILIDADE</b> .....	<b>59</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>66</b>
<b>6.1</b>	<b>MORFOLOGIA DO SOLO</b> .....	<b>66</b>
<b>6.2</b>	<b>MEDIDAS HIDROLÓGICAS</b> .....	<b>77</b>
<b>6.3</b>	<b>VARIÁVEIS CLIMÁTICAS</b> .....	<b>80</b>
<b>6.4</b>	<b>INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>90</b>

<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>96</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>97</b>
	ANEXO 1 – solicitação SARPAS ago/22.....	11111
	ANEXO 2 – solicitação SARPAS set/22.....	1122
	ANEXO 3 – solicitação SARPAS out/22.....	1133
	ANEXO 4 – solicitação SARPAS nov/22.....	1144
	ANEXO 5 – solicitação SARPAS dez/22.....	115
	ANEXO 6 – solicitação SARPAS jan/23.....	116
	ANEXO 7 – solicitação SARPAS fev/23.....	117
	ANEXO 8 – solicitação SARPAS mar/23 .....	118
	ANEXO 9 – solicitação SARPAS abr/23 .....	119
	ANEXO 10 – solicitação SARPAS mai/23.....	12020
	ANEXO 11 – solicitação SARPAS jun/23.....	12121
	ANEXO 12 – solicitação SARPAS jul/23.....	1222
	ANEXO 13 – solicitação SARPAS ago/23.....	1233

## 1 INTRODUÇÃO

O conceito de Desenvolvimento Sustentável é o resultado dos vínculos globais estabelecidos entre os crescentes problemas ambientais, questões socioeconômicas e preocupações acerca da garantia de um futuro saudável para a humanidade (Hopwood *et al.*, 2005). Neste sentido, durante a Cúpula das Nações Unidas (ONU) em 2015, foram criados os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) com a finalidade de promover metas sociais, econômicas e ambientais a serem alcançadas globalmente. Dentre os 17 objetivos propostos, o objetivo seis versa sobre a disponibilidade e a gestão sustentável de água e saneamento para todos.

De acordo com Gleick (1996) e Stephens *et al.* (2020), apenas 2,5% da água disponível no planeta é doce; e deste total, cerca de 69% está presente em geleiras e calotas polares, 30,7% em águas subterrâneas e apenas 0,3% em rios e lagos. O crescimento populacional, aliado ao excessivo uso e as constantes retiradas reduziram a disponibilidade hídrica no planeta, cuja distribuição é heterogênea (Tundisi, 2008).

As áreas úmidas (AU) naturais de água doce perfazem cerca de 7 milhões de km<sup>2</sup> em todo o mundo e desempenham papel fundamental nos ciclos hídricos locais com a contribuição no armazenamento de água, recarga de aquíferos, amortecimento de cheias, regulação do microclima e fornecimento de água potável (Rosolen *et al.*, 2015; Furlan *et al.*, 2020).

No Brasil, as áreas úmidas recobrem cerca de 20% do território e podem ser uma alternativa a crise hídrica, pois desempenham importante papel no armazenamento de água, recarga de aquífero e fornecimento de água potável para abastecimento público e agrícola (Junk *et al.*, 2014). Apesar da grande importância, os ecossistemas mantidos das áreas úmidas têm sido prejudicados, principalmente, pela expansão da agricultura (Euliss; Mushet, 2004; Papastergiadou *et al.*, 2008).

De acordo com os dados coletados pelo Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS) e apresentados no Panorama do Saneamento Básico no Brasil, embora seja considerado um dos países com maior disponibilidade hídrica do mundo, ainda possui aproximadamente 35 milhões de pessoas sem

acesso à água potável e 100 milhões sem acesso a esgoto. A falta de gerenciamento dos recursos hídricos, aliado às atividades agrícolas e à crescente urbanização são os principais agravantes na distribuição de água pelo país (Tundisi, 2008).

O gerenciamento de recursos hídricos no país tem como marco legal a Lei Federal nº 9.433/97, conhecida como a “Lei das Águas” que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH). O principal objetivo desse sistema é a reestruturação político/administrativa do setor de recursos hídricos no Brasil. No Estado de São Paulo, a Lei Estadual nº 7.633/91 criou as 22 Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (UGRHI) com a finalidade de descentralizar a gestão hídrica e utilizar a bacia hidrográfica na governança da água.

A UGRHI 5 – Piracicaba, Capivari e Jundiaí é a segunda mais populosa do Estado de São Paulo, com cerca de 5,7 milhões de habitantes (CBH-PCJ, 2021) e ainda, de acordo com os dados do CBH-PCJ (2021), a disponibilidade per capita – vazão média em relação a população total ( $m^3/hab.ano$ ) é considerada crítica, com valor abaixo de  $1.500 m^3/hab.ano$ .

Diante da complexidade hídrica existente na Região Metropolitana de Piracicaba (RMP), foi selecionada para este estudo uma área úmida geograficamente isolada (GIW- *Geographically Isolated Wetlands*) com a sigla em português AUGI localizada no distrito de Tanquinho, no município de Piracicaba, Estado de São Paulo. Como as áreas úmidas são ambientes que contribuem com o estoque e recarga de aquífero, e com o fornecimento de água, é necessário compreender quais variáveis influenciam em sua disponibilidade hídrica para isto, foi utilizado um sistema de aeronave remotamente pilotada (SARP) – em inglês *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAS) para obtenção de imagens temporais e confecção do modelo digital de elevação (MDE), bem como o monitoramento do nível da água através de piezômetros instalados na área de estudos, amostragens de solo para descrição morfológica e geológicas, além da dinâmica climática local.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

Os objetivos do estudo consistem em compreender, monitorar e avaliar a influência de variáveis climáticas e geológicas, além dos mecanismos atuantes para manutenção da área úmida geograficamente isolada situada no município de Piracicaba-SP.

### 2.2 ESPECÍFICOS

Compreender como a pluviosidade e a taxa de evapotranspiração influenciam na área úmida;

Avaliar como a permeabilidade do solo e o saprólito atuam na disponibilidade hídrica e na recarga de aquífero;

Compreender os mecanismos que atuam na manutenção da área úmida;

Monitorar a amplitude hídrica superficial e subsuperficial da área úmida em curto prazo;

Avaliar o uso de geotecnologias como o RPAS no monitoramento da amplitude hídrica superficial.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 ÁREAS ÚMIDAS

As áreas úmidas apresentam grande importância para a biodiversidade local, além de serem agentes de controle de erosão, sequestro de carbono, zonas de recarga de aquíferos e possíveis fontes de água doce (García-Muñoz et al., 2010; Pupins *et al.*, 2023). Elas podem ser classificadas de acordo com sua posição geomórfica, como sistemas fluviais, sistemas ribeirinhos, bacias isoladas e sistemas costeiros (Tabela 1, Figura 1).

Tabela 1 - Classificação e importância de áreas úmidas.

<b>Posição geomórfica</b>	<b>Importância no sistema</b>
<b>Sistemas fluviais</b>	Cadeia alimentar aquática; Exportação orgânica
<b>Sistemas ribeirinhos</b>	Retenção de sedimentos; Controle de inundações; Corredor de animais; Retenção de fósforo e nitrogênio
<b>Bacias isoladas</b>	Recarga de aquíferos; Controle de inundações
<b>Sistemas costeiros</b>	Cadeia alimentar aquática; Aves aquáticas

Fonte: Adaptado de Mitsch; Gosselink, 2000.

As áreas úmidas fluviais processam grandes quantidades de água e as entradas são aproximadamente iguais às saídas. Mas a grande importância desses sistemas está principalmente relacionada às cadeias alimentares aquáticas e exportação de material orgânico (Mitsch; Gosselink, 2000). Este local é vulnerável durante inundações e pode ser imprevisível em sua estabilidade final. Tem a vantagem de potencialmente “tratar” uma parcela significativa da água que passa por aquela localidade.

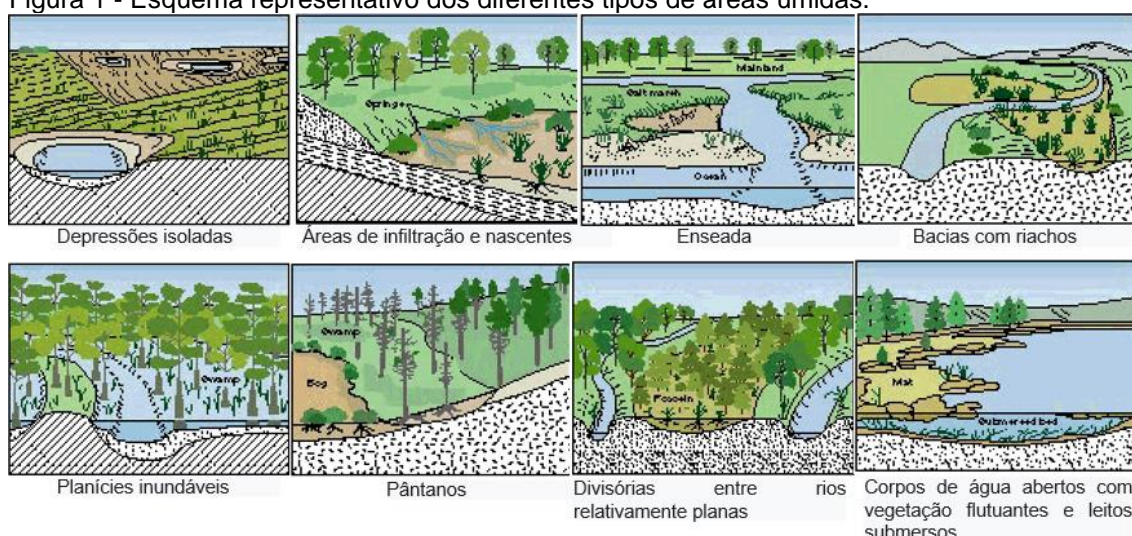
Uma área úmida ribeirinha é alimentada principalmente por uma corrente de inundação que permite a deposição de sedimentos nas épocas de cheias. Nestes casos, as áreas úmidas capturam a água e os sedimentos da inundação e os liberam lentamente ao rio. Os sistemas ribeirinhos fornecem corredores para

o movimento dos animais ao longo do rio e representam uma zona de transição entre terras altas e sistemas aquáticos (Mitsch; Gosselink, 2000).

As bacias ou áreas úmidas isoladas são caracterizadas por zonas que não estão ligadas por águas superficiais a um rio, lago, oceano ou outro corpo de água. Sua importância está atrelada a recarga de águas subterrâneas e ao fluxo de água no local (Winter; Labaugh, 2003).

Os sistemas costeiros ou marginais, geralmente encontrados ao longo da costa, são importantes para a produtividade nas águas costeiras, além da manutenção da cadeia alimentar aquática e proteção de aves marinhas.

Figura 1 - Esquema representativo dos diferentes tipos de áreas úmidas.



Fonte: Modificado de Tiner, 1994.

### 3.1.1 Áreas úmidas geograficamente isoladas

As áreas úmidas geograficamente isoladas (AUGI) – (*Geographically Isolated Wetlands - GIW*) podem ser formadas naturalmente ou resultantes de intervenções antrópicas, como por exemplo derivadas de projetos de recuperação de minas, construção de diques, desenvolvimento urbano e agrícolas ou por alteração na hidrologia (Tiner, 2003).

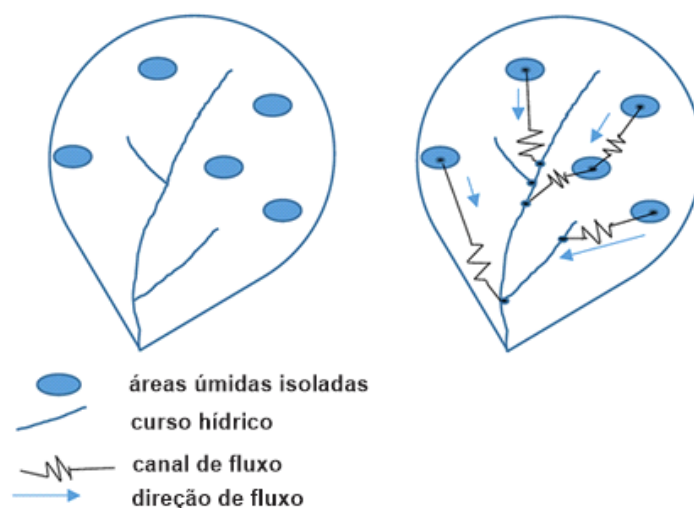
As AUGI naturais podem ocorrer em vários locais do planeta e sua formação é influenciada pela geologia do local, características físicas e químicas do solo, clima e condições do relevo (Gillijns *et al.*, 2005; Vanwalleghem *et al.*, 2010; Sauro, 2019). As características da qualidade da água de áreas úmidas

geograficamente isoladas são variáveis e dependem principalmente das fontes de água, características do substrato e uso e ocupação do solo ao redor da zona úmida (Whigham; Jordan, 2003).

A maioria das áreas úmidas isoladas ocorrem em depressões fechadas com acúmulo de água superficial, circundadas por encostas e desconectadas de outros corpos de água, porém não completamente dissociadas dos sistemas de águas superficiais ou subterrâneas (Dobbertein; Nickerson, 1991, Kołodyńska-Gawrysiak & Poesen, 2017).

O controle de água presente nessas áreas pode ocorrer através de trocas atmosféricas, quando estas possuem poucas conexões com águas subterrâneas ou superficiais, enquanto outras são controladas pela entrada de água subterrânea e possuem conexões hidrológicas intermitentes ou contínuas com sistemas (Figura 2) (Rains *et al.*, 2016).

Figura 2 - Conexões hidrológicas em áreas úmidas.



Fonte: Rains *et al.*, 2016.

### 3.1.2 Caracterização hidrológica de áreas úmidas

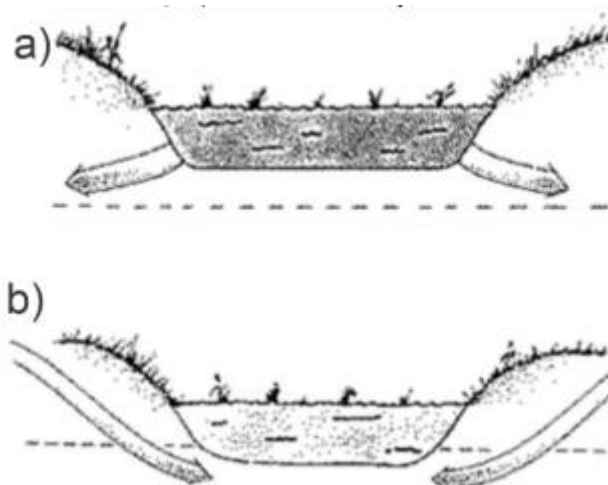
As áreas úmidas são ecossistemas com inundações permanentes ou sazonais que podem permanecer alagados durante vários meses (Junk *et al.*, 2014; Rosa, 2022). A topografia exerce papel importante no balanço hídrico das áreas úmidas. Fatores como declividade e formas de relevo influenciam no

escoamento superficial e infiltração de água em diferentes pontos (Richardson & Vepraskas, 2006).

Alterações no clima e pluviosidade estão relacionadas com as variações da profundidade do nível freático e são determinantes na função hidrológica correspondente a uma determinada área úmida, que podem ser classificadas como áreas úmidas de recarga, descarga, ou ambas as funções (Tiner & BURKE, 1995). As áreas úmidas possuem papel importante na recarga de aquíferos que ocorre desde o controle da entrada de água para subsuperfície, com base na dinâmica da umidade do solo, até a regulação do comportamento do fluxo de base na rede de drenagem regional (McLachlan *et al.*, 2017). A recarga de aquíferos em áreas úmidas ocorre através da saturação da superfície e conseqüentemente dos poros existentes no solo (Figura 3a). O processo de infiltração das águas superficiais para as subterrâneas ocorre de maneira lenta, a depender do coeficiente hidráulico do solo (Richardson & Vepraskas, 2006). Em áreas úmidas de recarga, a topografia é caracterizada por elevada altitude frente as demais, que cedem suas águas para aquíferos suspensos e são controladas pela pluviosidade e evapotranspiração (Van Der Kamp & Hayashi, 2009; Klopff *et al.*, 2016).

Áreas úmidas presentes em relevos rebaixados são caracterizadas como áreas de descarga, cujas águas advém de aquíferos locais (Hensen; Miller, 1991). A descarga de água subterrânea auxilia no equilíbrio de água e na manutenção da qualidade química de água de uma área úmida (Figura 3b).

Figura 3 - Posição das áreas úmidas em relação ao nível freático a) acima da superfície; b) abaixo do nível freático.



Fonte: Hensen & Miller, 1991.

Diferentes usos do solo em uma área úmida podem alterar suas características hidrológicas e influenciar na propriedade hidráulica dos solos próximos à superfície (Richardson & Vepraskas, 2000). Em determinadas áreas, a contaminação destes locais pode servir como fontes de armazenamento de resíduos provenientes da agricultura intensiva realizada próximas à essas áreas (Rosolen *et al.*, 2015). Os solos presentes nas áreas úmidas devem suportar a variação de regimes hidrológicos de saturação completa do meio ou saturações parciais ao longo do tempo (Richardson & Vepraskas, 2000).

## **3.2 FOTOGRAMETRIA DIGITAL**

### **3.2.1 Aerofotogrametria**

O Sensoriamento Remoto (SR) é um termo utilizado na área das ciências aplicadas referente à obtenção de imagens à distância, sobre a superfície terrestre e tem como um dos principais objetivos a extração das informações contidas nas aerofotos (Liang; Wang, 2019). Com este objetivo, critérios são estabelecidos para a análise dos elementos que compõem a paisagem, por meio das propriedades dos objetos presentes na imagem, como cor, forma, textura, sombra, entre outras propriedades específicas de cada classe de alvos.

Estas imagens são adquiridas através de aparelhos denominados sensores remotos (Toth; Józków, 2016; Javaid *et al.*, 2021). Por sua vez, estes sensores ou câmeras são embarcados em aeronaves (tripuladas ou não) ou em satélites de sensoriamento remoto - também chamados de satélites observação da Terra. Um sensor a bordo do satélite gera um produto de SR denominado de imagem; ao passo que uma câmera aerofotogramétrica a bordo de uma aeronave, gera um produto de sensoriamento remoto denominado fotografia aérea ou fotogrametria (Rudorff, 2011).

A fotogrametria, de acordo com a *American Society of Photogrammetry* (ASP) (1966), é a arte, ciência e tecnologia de obter informações confiáveis sobre objetos e do meio ambiente com o uso de processos de registros, medições e interpretações das imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética registrados.

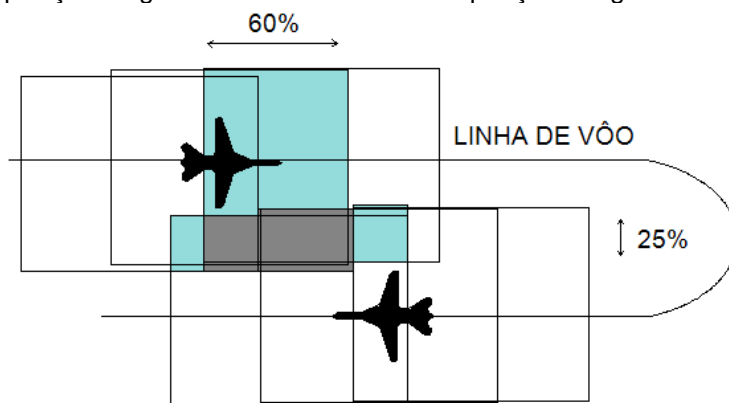
Como resultado do registro das tomadas aéreas e do processamento das aerofotos, são geradas imagens digitais classificadas de acordo com seus elementos, sendo um mapa temático de *pixels* ou conjuntos de *pixels* classificados e que representam os polígonos em padrões homogêneos de classes de alvos presentes na cena (Meneses; Sano, 2012; Anjos, 2016).

Diversos trabalhos apontam a eficácia no uso do sensoriamento remoto para os mais diversos estudos, como por exemplo a obtenção de monitoramento de inundações (Serpico *et al.*, 2012; Mateo-Garcia *et al.*, 2021), controle de tráfego em rodovias (Wang *et al.*, 2016; Kahraman *et al.*, 2018), mapeamento geológico-estrutural (Mwaniki *et al.*, 2015; Ahmadi; Pekkan, 2021) e identificação e monitoramento de áreas úmidas (Klemas, 2011; Ozesmi; Bauer, 2002; Guo *et al.*, 2017).

Os mapeamentos fotogramétricos são programados para recobrir um objeto/alvo ou uma ampla área; os dados são adquiridos através de fotografias ortogonais ao solo. É fundamental que as imagens sejam sucessivas e que apresentem sobreposição lateral e longitudinal de modo a proporcionar a visão estereoscópica tridimensional do objeto, ou seja, o mesmo local será registrado ao menos em duas imagens distintas em posições diferentes com a finalidade de criar pixels de informações homólogas (Han *et al.*, 2018).

A sobreposição utilizada é apresentada em porcentagem sobre a fotografia sobreposta, seja na direção do voo (longitudinal) e na direção perpendicular do voo (lateral), conforme ilustra a Figura 4.

Figura 4 - Sobreposição longitudinal e lateral durante aquisição fotogramétrica.



Fonte: Adaptado de Redweik, 2007.

O estudo de Redweik (2007) propõe a utilização da sobreposição longitudinal de 60% e a sobreposição lateral de 20% a 30%, porém, ao realizar aquisições de dados com sensores menores, como os embarcados em RPAS, é indicado aumentar a taxa de sobreposição longitudinal (+75%) e lateral (+60%) de modo a minimizar falhas durante a aquisição de dados e otimizar o processamento das imagens (AGISOFT, 2019).

O SR utiliza sensores ativos e passivos para tomada de dados. Os sensores ativos possuem sua própria fonte de radiação eletromagnética, que trabalham em faixas restritas do espectro como por exemplo os radares, LiDAR e sonares (Wang *et. al.*, 2024). Os sensores passivos não possuem fonte própria de radiação, e dependem de uma fonte de Radiação Eletromagnética (REM) – o Sol – em que é medida a radiação solar refletida ou radiação emitida pelos alvos.

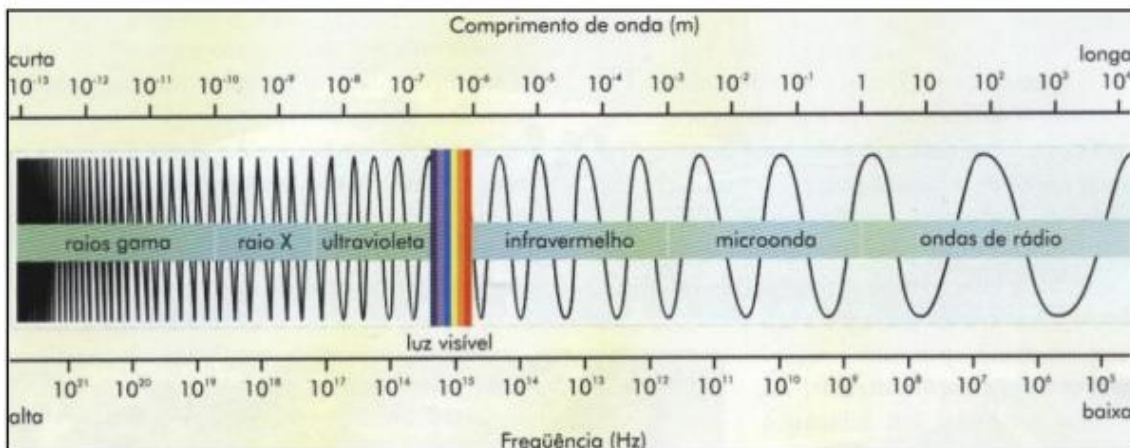
Os sensores são classificados em função do tipo de produto gerado, sendo do tipo não-imageador e imageador (Câmara *et al.*, 1996). Os sensores não-imageadores não geram imagem da superfície alvo, mas apresentam os resultados em forma de dígitos ou gráficos, e são essenciais para aquisição de informações precisas sobre o comportamento espectral dos objetos, como por exemplo os espectrorradiômetros (assinatura espectral) e radiômetros.

Os sensores imageadores fornecem informações sobre a variação espacial da resposta espectral da superfície observada através de imagem, e são divididos em Sistema de Quadro (*framing systems*), que adquirem a imagem da cena em sua totalidade num mesmo instante, por exemplo, o RBV (*Return Beam Vidicon*). O Sistema de Varredura (*scanning systems*), como os sensores TM, MSS, HRV embarcados em plataformas orbitais. E, por fim, o Sistema Fotográfico, mais comumente encontrado em aeronaves tripuladas e não-tripuladas, estas apresentam facilidade operacional e registram uma porção delimitada do espectro eletromagnético com resolução espectral entre os intervalos do comprimento de onda ultravioleta próximo ao infravermelho distante (Novo e Ponzoni, 2001).

Ainda sobre os sensores imageadores, Novo (1998) apresenta que toda a matéria acima do zero absoluto (0 K) emite energia eletromagnética e pode ser considerada uma fonte de radiação dessa forma, Figueiredo (2005) complementa e descreve o funcionamento do espectro eletromagnético da

seguinte forma: os objetos da superfície terrestre, como a vegetação, a água e o solo refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética em proporções que variam com o comprimento de onda, de acordo com as suas características bio-físico-químicas. Deste modo, o Espectro Eletromagnético representa a distribuição da radiação eletromagnética, por regiões, de acordo com o comprimento de onda e a frequência (Guedes; Silva, 2018), conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5 - Espectro eletromagnético.



Fonte: Florenzano, 2002.

O espectro da luz visível apresenta radiação capaz de produzir a sensação de visão para o olho humano normal, a qual possui pequena variação de comprimento de onda (380 nm a 750 nm) (ZHU et al., 2018). Este espectro eletromagnético é importante para o Sensoriamento Remoto, pois imagens obtidas nesta faixa, geralmente, apresentam excelente correlação com a experiência visual do intérprete (Câmara et al., 2008).

A resolução espacial está relacionada com a capacidade que cada sensor possui para detectar os objetos da superfície terrestre. Desta forma, quanto melhor a resolução espacial, menor o objeto distinguível pelo sensor (Oliveira, 2017). Esta é uma medida da menor separação angular ou linear entre dois objetos que pode ser determinada pelo sistema de sensoriamento remoto (Novo, 2001). A resolução espacial de fotografias aéreas pode ser medida por 1) colocação de linhas pretas e brancas paralelas e calibradas sobre placas colocadas no campo, 2) obtenção de fotografia aéreas da área de estudo, e 3) cálculo do número de pares de linhas por milímetro determinado na fotografia. (Joseph, 2000).

Assim, Jensen (2009) define a resolução espacial nominal a partir do campo de visada instantânea (IFOV, em inglês) constante, como a dimensão em metros do IFOV projetado no terreno, onde o diâmetro do círculo ( $D$ ) no terreno é uma função do campo de visada instantâneo ( $\beta$ ) multiplicado pela altitude ( $H$ ) do sensor sobre o nível do terreno (AGL), conforme equação 01 a seguir:

Equação 1:

$$D = \beta \times H$$

A menor unidade de área em uma imagem digital é denominada *Element Picture* (*pixel* – px). O tamanho do *pixel* é definido a partir da relação geral entre o tamanho de um objeto/área a ser identificada e a resolução espacial de um sistema de SR (Florenzano, 2002).

Uma regra heurística prática útil é a de que, a fim de detectar uma feição, a resolução espacial nominal do sistema de SR deve ser pelo menos a metade do tamanho da feição medida na sua menor dimensão (Jensen, 2009), porém, mesmo que a regra seja aplicada, não há garantia de sucesso se não houver contraste entre a resposta espectral do objeto e do arredor.

Outro aspecto valorizado no SR está relacionado à revisita do sensor em intervalos de tempos determinados para registro da mesma feição/área e a esta característica é denominada de resolução temporal. A Resolução Temporal de um sistema de sensoriamento remoto geralmente se refere a quão frequentemente o sensor registra imagens de uma área particular. Idealmente, o sensor obtém dados repetitivamente para captar características discriminativas singulares de um objeto sob investigação (Jensen, 2009).

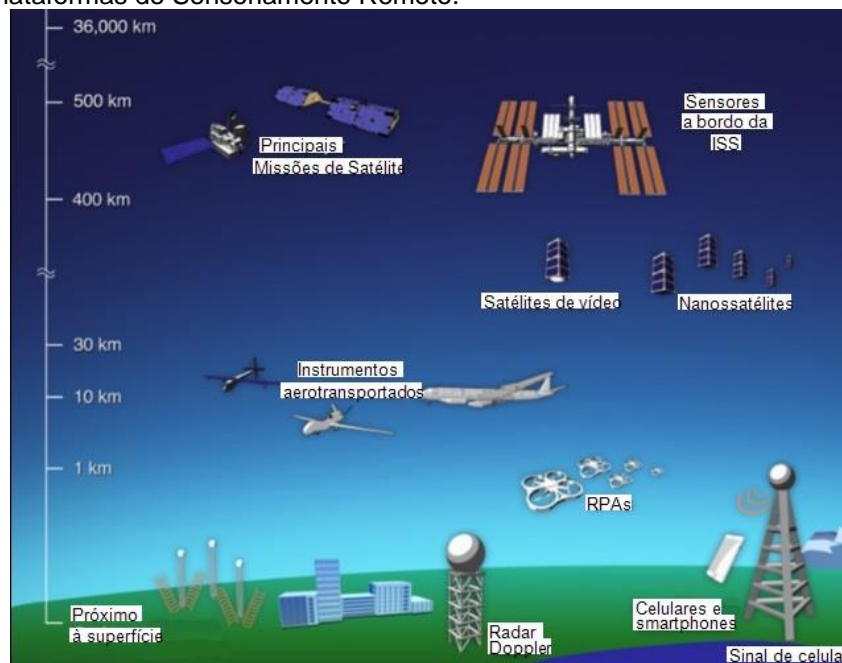
Existem as resoluções espectrais e radiométricas que compõem as características que um sensor possui para distinguir respostas entre os alvos. A Resolução Espectral é uma medida da largura das faixas espectrais do sistema sensor. Quanto maior número de medidas menor será o intervalo de comprimento de onda (banda espectral) (Novo, 2001; Oliveira, 2017). A Resolução radiométrica é dada pela capacidade do sistema detectar pequenos sinais, está associada à sensibilidade do sistema sensor em distinguir dois níveis de intensidade do sinal de retorno (Novo, 2001; Oliveira, 2017).

As plataformas do SR são classificadas quanto ao alcance e altitudes de voo (Jorge; Inamasu, 2014 *In* Bernardi, A. C. de C.; Naime, J. de M.; Resende, A. V. de; Bassoi, L. H.; Inamasu, R. Y., 2014):

- 1) De mão, com 600 m altitude e alcance 2 km;
- 2) Curto alcance, com 1.500 m de altitude e 10 km de alcance;
- 3) OTAN, de 3.000 m de altitude e alcance até 50 km;
- 4) Tático, de 5.500 m de altitude e alcance de 160 km;
- 5) MALE (altitude média, alcance longo), até 9.000 m de altitude e alcance de 200 km;
- 6) HALE (altitude alta, alcance longo), acima de 9.100 m e altitude e alcance indefinidos;
- 7) HIPERSÔNICO, 15.200 m de altitude e alcance acima de 200 km;
- 8) ORBITAL em baixa órbita;
- 9) CIS, transporte lua-terra.

Conforme a Figura 6, diversos sensores, câmeras e plataformas podem ser utilizados para realizar as operações de SR a partir de parâmetros que atendam as demandas de mapeamento e investigação do objeto alvo.

Figura 6 - Plataformas de Sensoriamento Remoto.



Fonte: Adaptado de MCCABE *et al.*, 2017.

### 3.2.2 Sistema de Aeronave Remotamente Tripulada (RPAS, em inglês)

Os sistemas de aeronaves remotamente tripuladas (RPAS, em inglês) são popularmente conhecidos por drone, termo em inglês relacionado ao som produzido pelo equipamento semelhante ao Zangão. Comumente, é empregada o termo Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) aos mesmos equipamentos, porém ambos os termos são considerados obsoletos pela comunidade aeronáutica internacional e pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC).

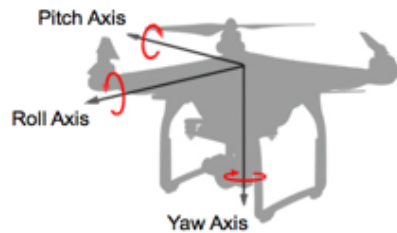
De acordo com a Organização da Aviação Civil Internacional (OACI), aeronave não tripulada, em inglês, *Unmanned Aircraft* (UA), abrange um amplo espectro de aeronaves, desde balões livres não tripulados e aeromodelos até aeronaves altamente complexas. De acordo com o DOC 100-19, elaborado pela ANAC e publicado pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), as UA são subdivididas em: *Remotely Piloted Aircraft* (RPA), *Small Unmanned Aircraft*, Aeromodelos e Autônomas. As três primeiras possuem características semelhantes, pois são Aeronaves Não Tripuladas e Pilotadas a partir de uma estação de pilotagem remota. As Aeronaves Não Tripuladas e classificadas como autônomas possuem a característica de não permitirem a intervenção humana, uma vez iniciado o voo (DECEA, 2023).

O DECEA (2023) define que o Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada (RPAS) é composto pelo subconjunto que engloba o conjunto de motores (rotores), hélices, asas, *spinners* e servos – mecanismos responsáveis por fazer os movimentos de Rolagem (*Roll*), Guinada (*Yaw*) e Arfagem (*Pitch*), conforme ilustra a Figura 7, o *Electronic Speed Control* (Controle Eletrônico de Velocidade), sensores de estabilidade, de colisão e de recepção de sinal de satélite (GNSS), além da bateria. O RPA é pilotado a partir de uma estação de pilotagem remota (*Ground Control Station* - GCS) através da qual é possível planejar e executar todo o trabalho realizado remotamente.

Em geral, a GCS possibilita visualizar o mapa do local a ser monitorado com a referência da posição da aeronave em tempo real junto aos demais parâmetros operacionais, como: velocidade, altura, altitude, angulação de câmera, distância do *homepoint*, tempo de operação, *status* de bateria; função denominada de telemetria, conforme ilustração da Figura 8. A operação ocorre

com finalidade diversa de recreação, ou seja, é uma operação profissional e deve ser realizada com a interação junto ao Controle de Tráfego Aéreo em tempo real (Adaptado de Jorge; Inamasu, 2014).

Figura 7 - Planos triaxiais (RPAS).



Fonte: DJI,

Disponível em: [https://developer.dji.com/mobile-sdk/documentation/introduction/flightController\\_concepts.html](https://developer.dji.com/mobile-sdk/documentation/introduction/flightController_concepts.html). Acesso em: 10 out. 2023.

Figura 8 - Telemetria de voo na área do estudo.



Fonte: Próprio autor.

Em meados dos anos 2000, os RPAS começaram a se popularizar com aplicações em uso civil e a partir dos anos 2010, os RPAS fabricados e distribuídos globalmente começaram a ser comercializados com receptores de navegação por satélite embarcado, assim como, uma unidade de navegação inercial (IMU) que permitem melhor precisão posicional durante a trajetória da aeronave (aceleração nos sentidos Norte/Sul, Leste/Oeste) e na aquisição das imagens, fato que impulsionou a aquisição de dados georreferenciados (Figura 9) em aeronaves remotamente pilotadas de baixo custo.

Figura 9 - Demonstrativo das coordenadas georreferenciadas na imagem DJI\_0014.

Propriedade	Valor
<b>GPS</b>	
Latitude	22; 34; 25.8806000000041081
Longitude	47; 38; 8.7908999999928028
Altitude	715.918
<b>Arquivo</b>	
Nome	DJI_0014.JPG

Fonte: Próprio autor.

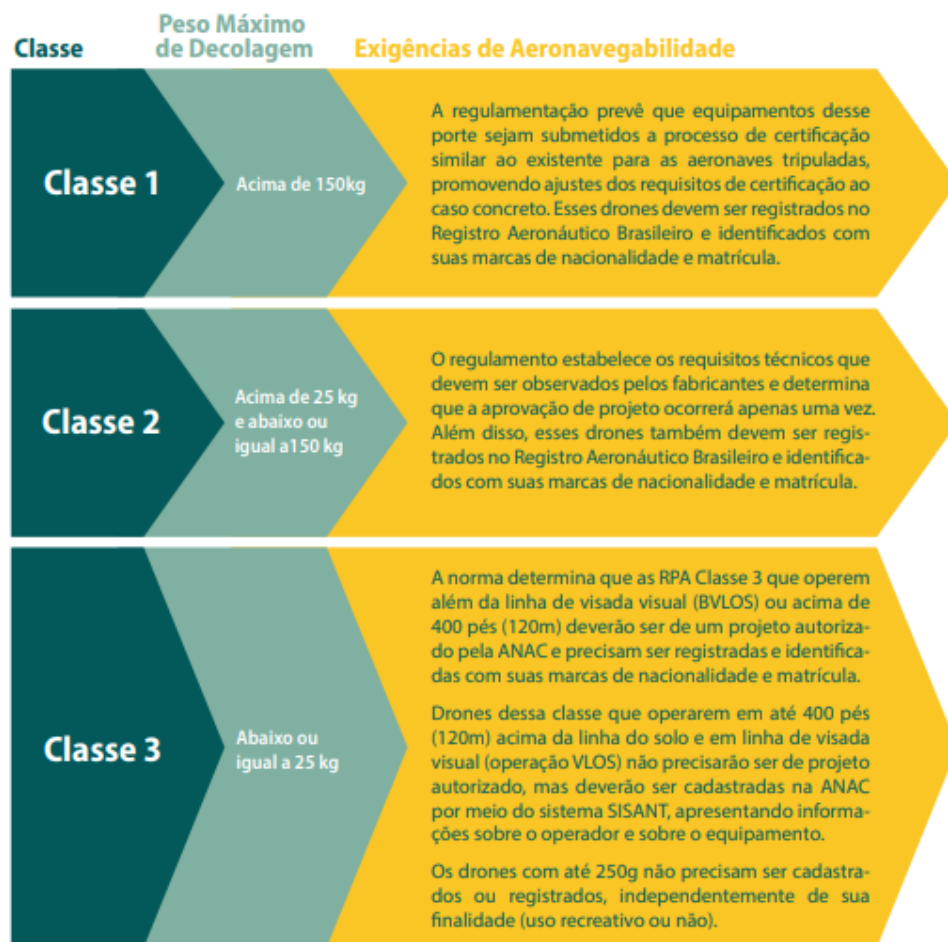
Alguns modelos de RPAS apresentam o sistema *Real Time Kinematic* (RTK) e/ou o sistema *Post Processed Kinematic* (PPK) embarcados. Tais tecnologias proporcionam a correção de posicionamento entre os dados coletados pelo sensor da aeronave e a posição correspondente ao solo.

Nas aeronaves que possuem o sistema RTK embarcado, as correções ocorrem em tempo real a partir da transmissão das correções geradas por um receptor GNSS base instalado na localidade. O mesmo coleta os dados provenientes dos satélites de posicionamento e retransmite o sinal corrigido para o receptor GNSS embarcado no RPAS tal correção proporciona o ajuste centimétricos entre a tomada da imagem e sua posição real na superfície

Para os equipamentos que utilizam do sistema PPK, é realizado o processamento dos dados de navegação GNSS armazenados no *flight log* (computador de bordo) após o voo, em *software* específico, e como resultado, as imagens apresentam coordenadas corrigidas da ordem centimétrica se comparada com a posição real do alvo em solo.

O DECEA (2023) subdivide as RPAS em três classes de acordo com o peso máximo de decolagem (PMD) – inclui no PMD o equipamento munido de baterias/combustível, sensores e carga – equipamentos classe 1 apresentam PMD acima de 150 kg, os RPAS classe 2 possuem PMD entre 25 kg e 150 kg e as classe 3 são classificadas com PMD entre 250 g e 25 kg (Figura 10).

Figura 10 - Classificação RPAS (DECEA).



Fonte: DECEA, 2022.

Disponível em: <https://www.decea.mil.br/drone/>. Acesso em: 10 out. 2022.

### 3.2.3 Operação legal

A interação com o Controle de Tráfego Aéreo é necessária para toda e qualquer operação realizada com aeronaves que possuam PMD superior a 250 g, pois uma vez que o RPAS se encontra sustentado na atmosfera a partir de reações do ar que não sejam as reações do ar contra a superfície da Terra (DECEA, 2023) o mesmo passa ocupar parte do espaço aéreo e, conseqüentemente, passa a dividir o espaço com outras aeronaves não tripuladas e aeronaves tripuladas, sejam de carga, aplicação agrícola ou de transporte de passageiro.

O espaço aéreo é definido pelo Departamento de Controle de Tráfego Aéreo (2023) como área de dimensões definidas, designado alfabeticamente, dentro dos quais podem operar tipos específicos de voos e para os quais são estabelecidos os serviços de tráfego aéreo e as regras de operação.

Assim, é competência do Departamento de Controle do Espaço Aéreo planejar, gerenciar e controlar as atividades relacionadas ao controle do espaço aéreo, à proteção ao voo, ao serviço de busca e salvamento e às telecomunicações do Comando da Aeronáutica (DECEA, 2023), com objetivo de preservar a segurança operacional e o desenvolvimento das atividades comerciais.

Para que a operação seja realizada em segurança e em conformidade com a legislação e regulamentação em vigor, a Aeronave Não Tripulada deve possuir o certificado de aeronavegabilidade com prazo de válido ativo, conforme preconizado na Lei nº 7.565/1986 (Código Brasileiro de Aeronáutica) artigos 20 e 68, § 2º.

De acordo com o Art. 20 (BRASIL, 1986):

“Salvo permissão especial, nenhuma aeronave poderá voar no espaço aéreo brasileiro, aterrissar no território subjacente ou dele decolar, a não ser que tenha: I - marcas de nacionalidade e matrícula, e esteja munida dos respectivos certificados de matrícula e aeronavegabilidade (artigos 109 a 114).”



Desta forma, todo RPAS deve possuir um código de identificação único (matrícula) que permita a identificação da aeronave e de seu respectivo proprietário. O processo é realizado através do Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (SISANT) fomentada pela ANAC, que emite a certidão de cadastro de aeronave não tripulada – uso não recreativo (Figura 11).

As operações realizadas com aeronaves remotamente pilotadas classe 3, limitas a altura máxima de voo acima do solo (AGL) em 120 m (400 pés) e que operam através da linha de visada-visual (VLOS) apresentam processo simplificado de credenciamento do operador (piloto). Nestes casos, o piloto deve realizar seu cadastro obrigatório através da plataforma SARPAS disponibilizada pelo DECEA por meio do login GOV.BR.

Mediante a matrícula da Aeronave Remotamente Pilotada e do código do piloto é possível solicitar o uso do espaço aéreo nacional através da plataforma SARPAS/DECEA para realizar o aerolevanteamento e aquisição de dados. Além

da solicitação de uso do espaço aéreo, é importante verificar se algum NOTAM (*Notice to airman*) foi divulgado pelo DECEA na localidade em que a operação será realizada.

Figura 11 - Certidão de Drone – SISANT/ANAC.

	REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL	
	AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL NATIONAL CIVIL AVIATION AGENCY	
<b>CERTIDÃO DE CADASTRO DE AERONAVE NÃO TRIPULADA – USO NÃO RECREATIVO</b> <b>UNMANNED AIRCRAFT INSCRIPTION CERTIFICATE - NON-RECREATIONAL</b>		
<p>Esta certidão de cadastro, emitida de acordo com o RBAC-E nº 94, é válida até <b>27/07/2025</b> salvo em caso de cancelamento, suspensão ou revogação pela Autoridade de Aviação Civil Brasileira.</p> <p><i>This Inscription Certificate, issued in accordance with RBAC-E nr. 94, shall remain valid until <b>27/27/2025</b> unless it is cancelled, suspended or revoked by the Brazilian Civil Aviation Authority.</i></p> <p>Operador (Operator): <b>Felipe Queiroz Miano</b></p> <p>Documento (document): CPF: :</p> <p><small>O descumprimento da regulamentação aplicável pode ensejar consequências</small></p>		<p>Nº do cadastro (Register Number): <b>PP-199011008</b></p> <p>Uso (Purpose): não recreativo (non-recreational) Ramo de atividade principal (Business): Aerolevantamento - Aerofotogrametria Fabricante (Maker): DJI Modelo (Model): Phantom 4 Advanced (WM332A) Nº de série (Serial Number): 07DJD9H0C10170 Peso máximo de decolagem (MTOW): 1,37 Informações adicionais (additional information): Não há.</p>

Fonte: Próprio autor.

Disponível em: <https://santosdumont.anac.gov.br/>. Acesso em: 15 nov. 2023

### 3.2.4 Posicionamento Geodésico

Com a crescente utilização das técnicas de posicionamento baseadas nos Sistemas Globais de Satélite de Navegação (GNSS, sigla em inglês), o emprego do método de posicionamento geodésico se difundiu rapidamente no ambiente acadêmico e profissional em razão da alta acurácia proporcionada pelo sistema e do grande desenvolvimento de tecnologia envolvida nos receptores GPS (adaptado de Monico, 2000).

Um dos principais componentes do GNSS é a constelação de satélites Norte-Americana conhecida amplamente como GPS (*Global Positioning System*) ou NAVSTAR-GPS, conforme apresentado por Monico (2000). O sistema foi estruturado para proporcionar a posição espacial, velocidade e a disseminação do tempo em um sistema padrão a qualquer instante e em qualquer ponto da Terra, independente das condições meteorológicas. A constelação é constituída atualmente de 32 satélites operacionais que orbitam a Terra duas vezes ao dia a uma altitude de 22.000 km com emissões contínuas de sinais de rádio codificados (Monico, 2000).

Outro componente fundamental da estrutura GNSS é a constelação GLONASS (*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*), desenvolvida pela extinta URSS (União das Repúblicas Socialistas Soviéticas) e controlada pela República da Rússia (Seeber, 2003). O sistema é constituído por 24 satélites operacionais, distribuídos em três planos orbitais aproximadamente circulares, separados em  $120^\circ$ , inclinados aproximadamente  $64,8^\circ$  em relação ao equador, com altitude média de 19.100 km e período orbital de 11h15min44seg (Tempo Sideral). Devido ao ângulo de inclinação maior que o GPS ( $55^\circ$ ), a constelação GLONASS apresenta cobertura um pouco diferente e pode fornecer melhor cobertura para altas latitudes. Com o sistema completo, entre seis e onze satélites são visíveis em qualquer ponto da Terra (Monico, 2008; Seeber, 2003).

Os receptores de sinal GPS operam com pelo menos quatro satélites de posicionamento na linha de visada da antena. As coordenadas obtidas a partir do posicionamento absoluto estão associadas ao geocentro e são navegadas a partir da pseudodistância e das observações de fase do código C/A (Monico, 2000).

O método de posicionamento absoluto é caracterizado pela adoção de apenas um receptor GPS para a determinação das coordenadas geodésicas de um ponto sobre a superfície terrestre, que utiliza das efemérides transmitidas referidas ao sistema de referência vinculado ao GPS (Krueger, 2006).

Apesar da alta precisão que os receptores GPS podem proporcionar aos usuários, existem diversas fontes de erros sistemáticos previstas nos algoritmos dos equipamentos e que podem influenciar na qualidade do dado obtido, seja com relação a precisão, acurácia ou solução (Franke, 2011). Estas fontes de erros estão relacionadas a diversos fatores, onde os principais são decorrentes do ruído do receptor (precisão) – relacionado ao processo de fabricação do equipamento, efeitos temporais como geometria das órbitas dos satélites (PDOP), efeitos do multicaminhamento, efeitos da refração Ionosférica e Troposférica, atrasos na propagação da onda portadora e eventuais influências das atividades solar, estes podem influenciar ao longo do dia ou pontualmente. (Segantine, 1999).

O mais notável em relação ao posicionamento geodésico no Brasil foi a proposta de implantação da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), uma concepção moderna que integra os mais recentes desenvolvimentos na área de posicionamento, ou seja, realizar posicionamento ativo (Fortes, 1997; Monico, 2000).

A RBMC passou de 24 estações no início de 2007 para 55 estações em junho de 2008. Os novos equipamentos instalados permitem facilidades operacionais e a disponibilização de novos serviços, para a realização de levantamentos em tempo real, através da técnica RTK (*Real Time Kinematic*) ou DGPS (*Differential GPS*) (Costa *et. al.*, 2008). Atualmente, a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo conta com 147 estações, equipadas com receptores GNSS (IBGE, 2023).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2008) apresenta as técnicas de posicionamento RTK ou DGPS baseadas no modo diferencial, em que as correções dos sinais dos satélites GNSS são transmitidas, em tempo real, da estação de referência para uma estação a qual se deseja determinar as coordenadas. Normalmente as correções são transmitidas via rádio UHF, os quais são instalados, juntamente com um receptor, em uma estação de coordenadas conhecidas, aos receptores móveis. Recentemente uma nova opção de transmissão das correções surgiu através da Internet e o seu funcionamento *wireless* pela telefonia celular. O NTRIP (*Networked Transport of RTCM via internet Protocol*) é um protocolo HTTP desenvolvido com o propósito de substituir o *link* de rádio pela conexão via Internet.

O serviço NTRIP é disponibilizado através do IBGE por meio da RBMC-IP, que tem como objetivo oferecer o posicionamento em tempo real a partir das estações da RBMC, para usuários que fazem uso da técnica (RTK) ou DGPS (GPS diferencial) em seus levantamentos.

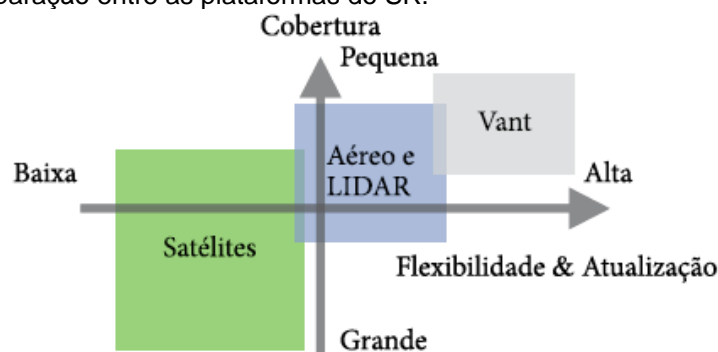
### **3.2.5 Aquisição de dados**

A aquisição de dados em SR está diretamente relacionada ao tipo de plataforma utilizada e sua trajetória (Rufino, Batista e Bandeira, 2001). As RPAS são selecionadas a partir de características relacionadas ao alcance, autonomia,

qualidade do sensor, adequabilidade a missão, escala do trabalho, dimensão da área de estudo e custos, se diferencia entre equipamentos de asa fixa ou rotativa (multirotóres).

A Figura 12 de Jorge e Inamasu (2014) ilustra a flexibilidade na aquisição de dados que os RPAS proporcionam frente a outras plataformas do SR. Apesar da pequena cobertura em área (abrangência) dada a autonomia das baterias do equipamento, a resolução temporal ilustrada pela abscissa (atualização) se demonstra de grande importância para os mapeamentos que demandam periodicidade com a revisitação do local de estudo e flexibilidade para pousos e decolagens.

Figura 12 - Comparação entre as plataformas do SR.



Fonte: Jorge, 2014.

A câmera digital embarcada no RPAS propicia uma captura de imagens em alta resolução de todos os pontos de interesse (Walter *et al.*, 2019) e com proeminência para determinadas feições a depender da resolução espectral do sensor utilizado.

As câmeras que operam no espectro visível (RGB) apresentam sensibilidade aos comprimentos de onda eletromagnética que variam dos 0,400  $\mu\text{m}$  aos 0,700  $\mu\text{m}$ . As imagens obtidas nesta banda auxiliam na identificação de falhas de plantio e alterações no dossel, por exemplo, as resoluções espaciais dos produtos fotogramétricos variam de centímetros a metros a depender da altura de voo, IFOV e lente utilizada (adaptado EMBRAPA, 2014). A composição RGB é importante para o SR, pois imagens obtidas nesta faixa, geralmente, apresentam excelente correlação com a experiência visual do intérprete (Câmara *et al.*, 1996).

Os objetos ou fenômenos que possuem capacidade de interagir com a energia eletromagnética são denominados de alvos e podem ser definidos por

seus comportamentos espectrais característicos, por exemplo a água, o solo, a vegetação etc. (Rufino, Batista e Bandeira, 2001).

A partir das informações apresentadas por Câmara *et al.* (1996) e disponíveis na Tabela 2 é possível compreender as principais características e aplicações correspondentes ao intervalo espectral do visível (RGB).

Tabela 2 - Comportamento Espectral no Visível (RGB).

Intervalo espectral ( $\mu\text{m}$ )	Principais características e aplicações
0,45 - 0,52 (Azul)	Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência e permite estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
0,52 - 0,60 (Verde)	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, o que possibilita sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água
0,63 - 0,69 (Vermelho)	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, caracterizado na imagem pela coloração escura e que permite bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana e inclui identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.

Fonte: Câmara *et al.*, 1996.

Além da caracterização e distinções de feições através de sensores do espectro visível, os sensores RGB permitem a representação da topografia da área por meio dos Modelos Digitais de Elevação (MDE), Modelos Digitais de Superfície (MDS) e Modelos Digitais do Terreno (MDT) (CRUZ *et al.*, 2011; DE BARROS, 2013; WHITEHEAD *et al.*, 2013; FLENER, 2013) e ortofotomosaicos, além da aquisição das coordenadas navegadas durante o mapeamento e realizar cálculos básicos como os de área, perímetro e estimativas volumétricas (cubagem) (Silva *et al.*, 2016).

As tomadas fotogramétricas com RPAS, com finalidade de mapeamento, são realizadas através do GCS com a utilização de aplicativos de planejamento de voo (*softwares*) com o objetivo de automatizar e preservar os mesmos parâmetros (superposição longitudinal e lateral, GSD e altura de voo) para toda a área.

### **3.2.6 Processamento de dados**

No momento sequente à aquisição das imagens aéreas, ainda não é possível extrair métricas do alvo, pois não há uma uniformização de unidades e escala com o terreno, uma vez que a imagem digital está organizada no sistema digital (Oliveira, 2020), ou seja, em formato matricial composto por linhas e colunas. Deste modo, é necessário transformar o sistema digital da imagem em sistema fotogramétrico para criar a correspondência dos eixos das ordenadas e abscissas com as unidades métricas do terreno, de forma a estabelecer as coordenadas e a escala (adaptado de Brito; Coelho Filho, 2007). A esse procedimento é denominado processamento da imagem.

O conceito de fotogrametria digital evoluiu para Sistema Fotogramétrico Digital, que integra fotogrametria digital com as ciências da computação e inclui processamento de imagens, reconhecimento de padrões e visão de computador para realizar operações semi-automáticas, automáticas (operador insere os *inputs*) e completamente automático (completo pelo computador) (Heipke, 2001; Silva, 2015).

Até recentemente, podiam ser identificadas três linhas distintas de desenvolvimento de *softwares* para processamento: satélites, fotogrametria aérea e fotogrametria a curta distância, mas hoje a tendência é a integração total. A flexibilidade desses sistemas permite manipulação radiométrica, funcionalidades especiais para SR, modelagem 3D, funções de GIS e animações, tudo pode ser integrado (Gruen, 2008; Silva, 2015).

A aerotriangulação por ajustamento de feixes perspectivos (*bundle adjustment*) pode ser entendida como a execução de uma resseção espacial simultaneamente à execução da interseção espacial para um conjunto de

imagens digitais adquiridas sobre determinado trecho do terreno (Brito; Coelho Filho, 2007).

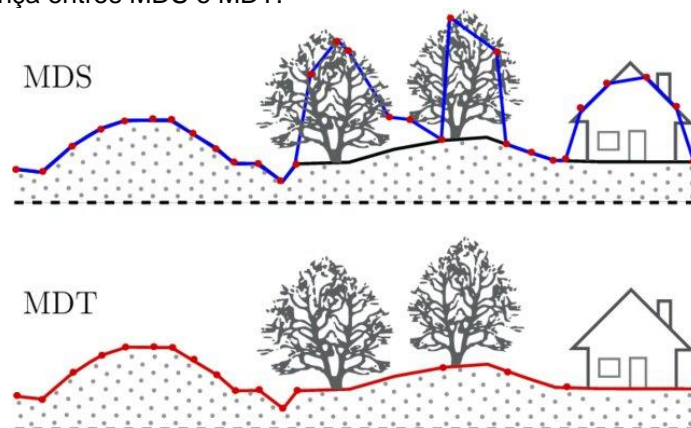
As imagens obtidas por RPAS são processadas em programas dedicados, com as funções básicas da fotogrametria digital para executar as operações de aerotriangulação, medição automática de pontos por técnicas avançadas e coeficientes de correlação e combinação, geração de MDS e MDT, ortorretificação e ortofotocartas (Silva, 2015).

Os *softwares* realizam o processamento das imagens automaticamente a partir da busca por pontos-chave (*key points*) em janelas de pesquisa e através de *pixels* homólogos que adotam algoritmos do tipo SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*) (AGISOFT, 2019). Este conjunto de operações são regidos pela correspondência de imagens e pela fototriangulação.

A partir da interseção fotogramétrica entre milhares de pontos homólogos numa determinada área, é gerada a nuvem densa de pontos (*dense points*) tridimensional com a possibilidade de obter modelagens digitais do local, seja do terreno, de elevação ou de superfície (adaptado de Oliveira, 2020).

De acordo com Wolf; Dewitt (2000), a superfície terrestre pode ser representada, de forma discreta, por modelos digitais de elevação (MDE). Estes modelos de elevação podem ser representações da superfície física sem as feições antrópicas (MDT) ou representação da superfície física acrescida das feições do espaço objeto (MDS) (Galo, 2012). Enquanto o MDT considera somente o solo nu do terreno, o MDS considera também a vegetação e feições antrópicas (Hirt, 2014) (Figura 13).

Figura 13 - Diferença entres MDS e MDT.



Fonte: Carrilho, 2016.

As ortoimagens ou ortofotos são imagens em projeção ortogonal, sem distorção, com escala uniforme (retificadas) e georreferenciada com precisão e geometricamente equivalentes a mapas planimétricos, uma vez que representam as verdadeiras localizações geográficas das características do terreno (Wolf; Dewitt, 2000). Quando uma única imagem não for suficiente para recobrir toda a área de interesse, é necessário preparar um mosaico (Wolf, Dewitt, 2000), que resulta da junção de várias imagens, de modo que todo o conjunto pareça ser uma única imagem, o resultado deste processamento é conhecido por ortofotomosaico ou ortomosaico.

A interpretação fotográfica é definida por Colwell (1961) como o ato de examinar imagens fotográficas para fins de identificar objetos e julgar sua significância (Jensen, 2009).

### **3.2.7 Cálculo de volume (lâmina d'água)**

Para o planejamento do espaço físico, é necessário que se tenha uma planta topográfica que represente a área de interesse ao projeto, com informações adequadas e atualizadas (Itame, 2001). A representação da superfície topográfica de forma adequada permite a obtenção de diversas informações, tais como: distância vertical entre pontos, inclinação da vertente ou talude, construção de perfis, elementos para o cálculo de áreas e volumes, entre outras.

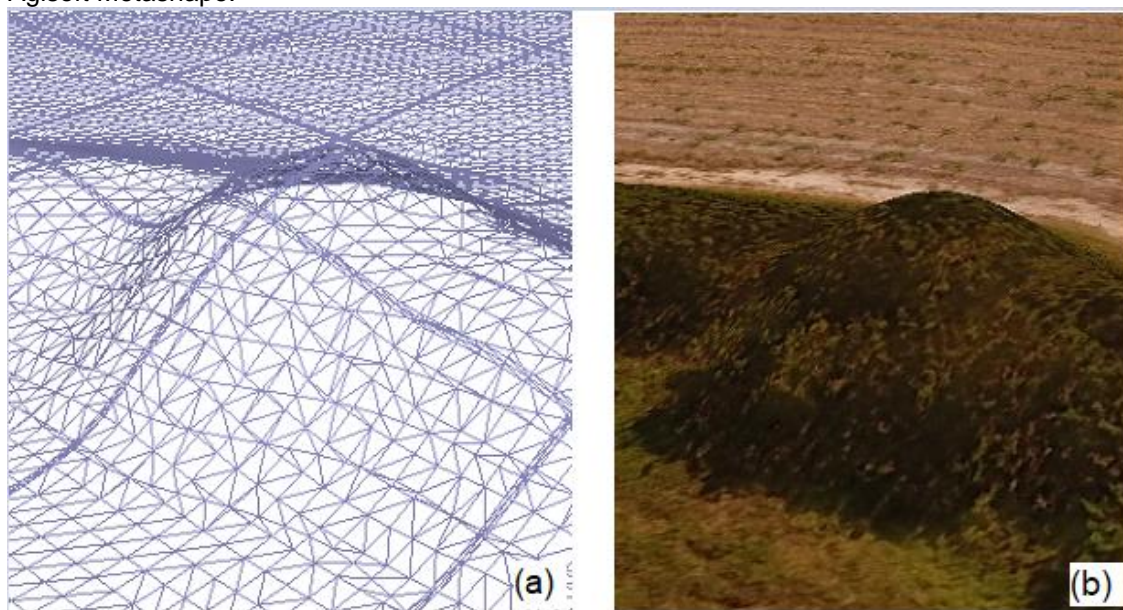
Para representação da superfície topográfica a partir de um modelo digital, frequentemente são utilizados *softwares* específicos baseados em matemática, geometria e trigonometria avançadas, onde a partir de um conjunto de pontos coletados por topografia convencional ou por fotogrametria aérea é possível gerar um conjunto de triângulos construídos a partir de diversos métodos, como, por exemplo, o método de triangulação de Delaunay, ilustrado na Figura 14.

De acordo com Van Kaick & Pedrini (2003), a triangulação de Delaunay é recomendada para este tipo de representação topográfica, pois possui a propriedade de construir os maiores triângulos possíveis (tende a triângulo equilátero). Através desta malha e de interpolações, é possível determinar o

valor (X, Y e Z) de todos os pontos do terreno, desde que seja determinada a tolerância de erro aceitável.

A partir da modelagem do terreno, são utilizados métodos geométricos e trigonométricos em *software* para estimar o volume da lâmina d'água e a variação sazonal entre os volumes de recarga, o que permite relacionar a capacidade de recarga ( $m^3$ ) do sistema. Dessa forma, são apresentados métodos clássicos utilizados em algoritmos computacionais para obtenção dos valores desejados.

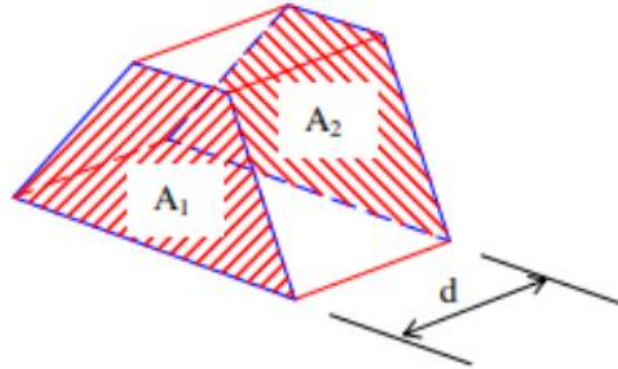
Figura 14 – Triangulação de Delaunay sem textura (a) e com textura; e (b) gerados no *software* Agisoft Metashape.



Fonte: Próprio autor.

O método das seções transversais descrito por Veiga (2007) supõe a existência de seções planas paralelas entre si, espaçadas por uma distância (d) conforme ilustrado na Figura 15, onde a área das seções é multiplicada pela distância de interesse pré-definida, de modo a atender as especificações do estudo.

Figura 15 - Volume por seções transversais.



Fonte: Veiga, 2007.

O volume parcial é calculado através da equação 2:

Equação 2:

$$V = d * \left( \frac{A1 + A2}{2} \right)$$

Onde:

V = Volume

d = distância entre as seções;

A1 = Área da seção 1

A2 = Área da seção 2

Veiga (2007) apresenta que para a mesma seção transversal é possível obter os respectivos valores parciais de corte ou de aterro, através das equações 3 e 4:

Equação 3:

$$Vc = d * \left( \frac{Ac1 + Ac2}{2} \right)$$

Onde:

Vc = Volume de corte

d = distância entre as seções;

Ac1 = Área de corte da seção 1

Ac2 = Área de corte da seção 2

Equação 4:

$$Va = d * \left( \frac{Aa1 + Aa2}{2} \right)$$

Onde:

$Va$  = Volume de aterro

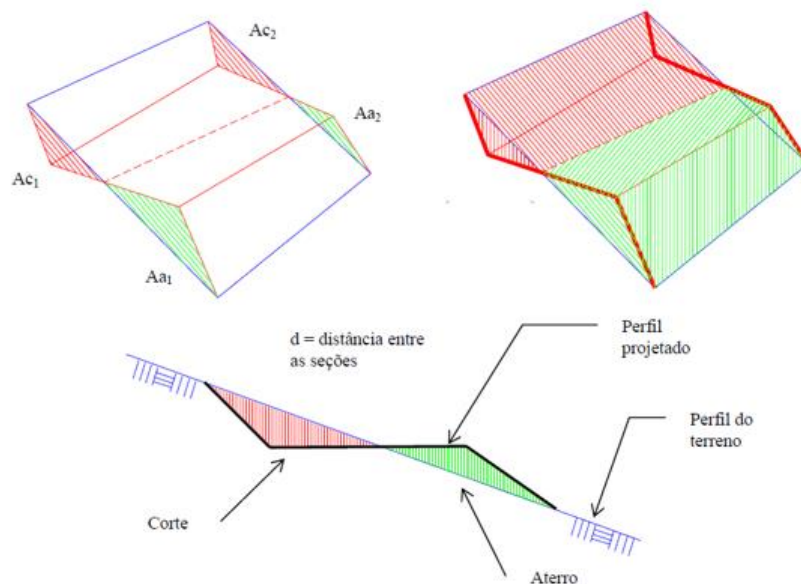
$d$  = distância entre as seções;

$A1$  = Área de aterro da seção 1

$A2$  = Área de aterro da seção 2

A Figura 16, de Veiga (2007), representa a seção composta formada por porções de corte e aterro na mesma seção.

Figura 16 – Seção mista.



Fonte: Veiga, 2007.

Os volumes totais de corte e de aterro são obtidos a partir da somatória de seus resultados parciais (equações 5 e 6) e o volume total do local de interesse é expresso através da somatória de todas as seções de corte e de aterro conforme equação 7.

Equação 5:

$$Vol\ total\ c = \sum Vc$$

Equação 6:

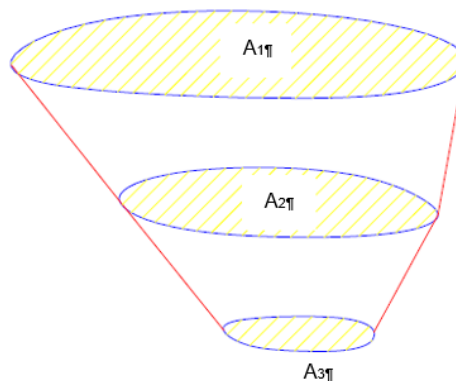
$$Vol\ total\ a = \sum Va$$

Equação 7:

$$Vol\ total = \sum Vc + \sum Va$$

Outro método volumétrico bastante empregado na topografia é o método da Superfície Equidistante, descrito por Veiga (2007) como similar ao método das seções transversais, porém, ao invés de utilizar seções verticais, são utilizadas seções horizontais. A Figura 17 ilustra o método da superfície equidistante e a equação 8 apresenta as componentes do cálculo:

Figura 17 – Seções horizontais.



Fonte: Veiga, 2007.

Equação 8:

$$V = d * \left( \frac{A1}{2} + A2 + A3 + \dots + A_{n-1} + \frac{An}{n} \right)$$

Onde:

V = Volume

n = número de seções

d = distância

A1/A2/A3/An = área da seção horizontal

O método das superfícies equidistantes é encontrado em diversos *softwares* topográficos específicos, onde o volume é calculado a partir da relação entre os modelos digitais de terreno junto aos seus respectivos pontos homólogos da superfície sequente. A partir da equação 9, extraída do manual do *software* Métrica TopoEVN, é possível compreender a lógica trigonométrica utilizada para estabelecer a correlação das superfícies equidistantes (Figura 18) que proporcionam o cálculo volumétrico entre modelos.

Equação 9:

$$V = ABS[(X2 - X1) * (Y3 - Y1) - (X3 - X1) * (Y2 - Y1)] * \frac{z1 + z2 + z3 - z4 - z5 - z6}{6}$$

Onde:

V = Volume

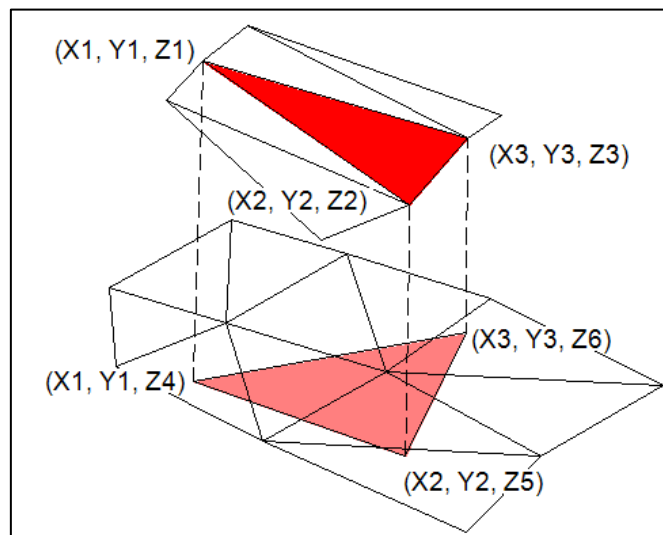
ABS = valor absoluto

X = coordenada no eixo X

Y = coordenada no eixo Y

Z = altura/altitude do ponto

Figura 18 – Diagrama representativo entre os modelos digitais de terreno utilizados para cálculo de volume.



Fonte: Modificado do Manual do Usuário do software Métrica TopoEVN, 2008.

Neste método são utilizadas as intersecções dos pontos dos dois MDT para determinação do volume entre si. Por meio da equação disposta anteriormente, o *software* calcula o volume do prisma formado por cada triângulo da superfície 1 e da superfície 2; e a somatória de todos os volumes dos prismas calculados representam o volume total existente entre os modelos digitais.

#### 4 ÁREA DE ESTUDO

O município de Piracicaba está localizado no interior do estado de São Paulo e pertence a UGRHI – 5, com população estimada de aproximadamente 423 mil habitantes (IBGE, 2022). Sua área territorial é de 1.378.069 km<sup>2</sup>, o que configura uma densidade demográfica de 307 hab./km<sup>2</sup>. O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) é de 0,785, classificado como alto e o 50º maior dentre os municípios do estado de São Paulo (PNUD, 2010). O Produto Interno Bruto (PIB) per capita, de acordo com os dados do IBGE (2020), é de R\$66.722,37, com grande participação do setor sucroalcooleiro.

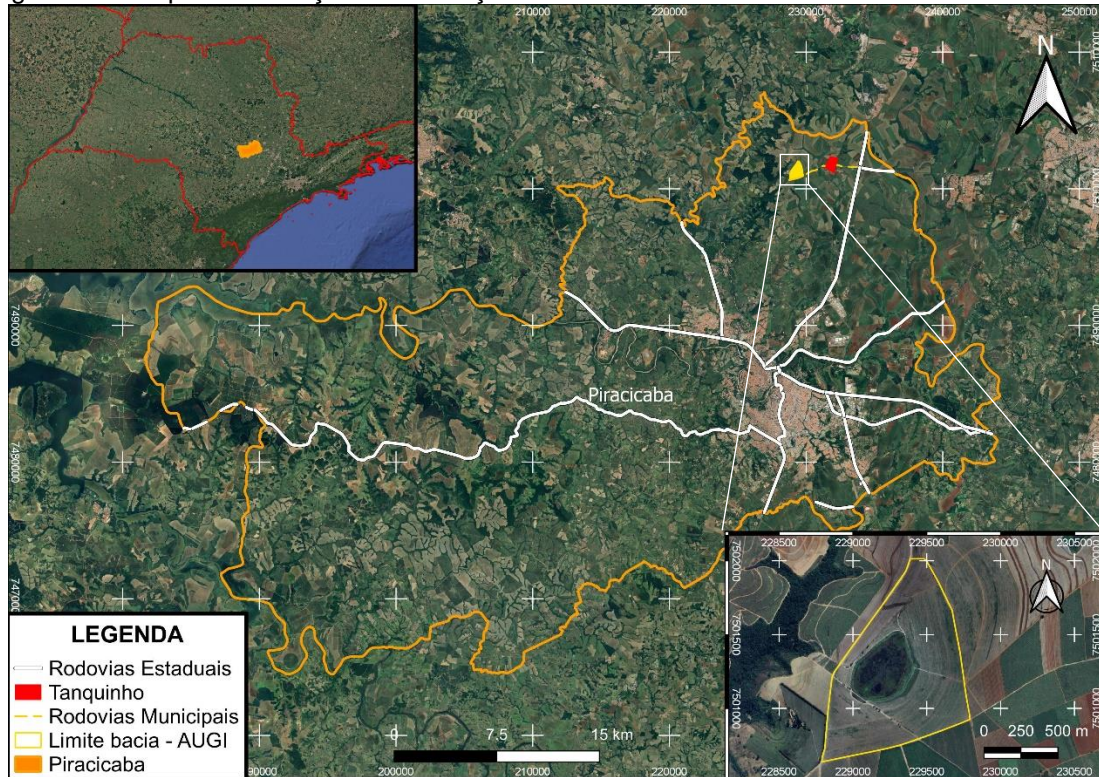
O município de Piracicaba possui 100% do seu esgoto coletado e tratado pelo Serviço Municipal de Água e Esgoto – SEMAE (BRASIL, 2021). O consumo médio de água por habitante é de aproximadamente 200 L/hab.dia e o índice médio de perdas com vazamentos nas tubulações de abastecimento é superior a 50%. Estudos apontam que a região está em iminência de uma crise hídrica, onde a partir de 2024, toda a água disponível na bacia será utilizada dentro dela (Sánchez-Román *et al.*, 2009).

A área de estudo está localizada a 16 km do centro da cidade de Piracicaba, 13 km de Iracemápolis e 17 km de Rio Claro. O acesso preferencial é através da Rodovia Estadual SP-127 (Rodovia Fausto Santo Mauro) e posteriormente Estrada Municipal PIR-21N e, em seguida, PIR-19, localizada na zona rural de Piracicaba, especificamente a 3 km a Oeste do distrito de Tanquinho; e está completamente inserida na monocultura da cana-de-açúcar mecanizada (Figura 19). Dentro da bacia de contribuição, que conta com perímetro de 3.837,70 m e área de 84,19 ha delimitados por estradas municipais rurais e carregador, a topografia apresenta inclinação máxima na ordem de 8,5%. A dimensão da área úmida é de aproximadamente 14,04 ha e 1.418,34 m de perímetro.

Diante da crise hídrica presente no município, a revisão do Plano Diretor de 2020 delimitou Macrozonas de Proteção Hídrica e Ambiental, que são áreas destinadas às atividades rurais, com presença de bacias hidrográficas com potencial de produção de água para abastecimento público e de áreas de proteção e de recuperação ambiental. A área úmida estudada está inserida na

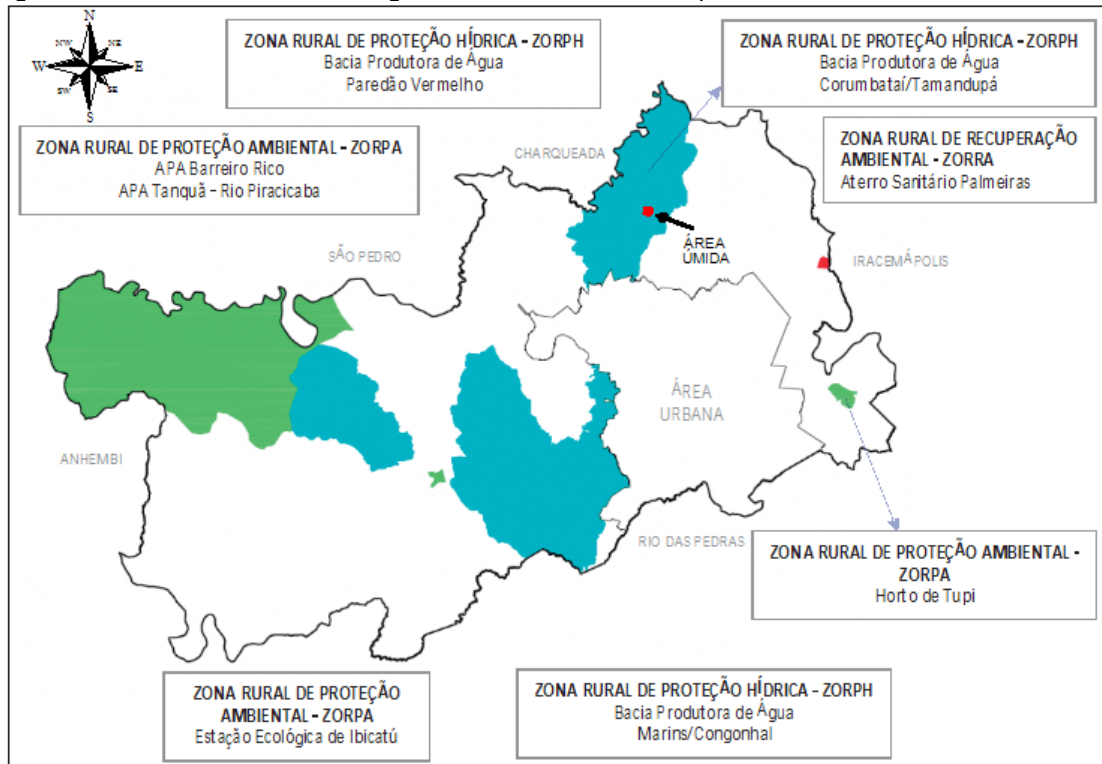
Zona Rural de Proteção Hídrica – Bacia Produtora de Água Corumbataí/Tamandupá (Figura 20).

Figura 19 – Mapas de situação e localização da área de estudo.



Fonte: Próprio autor.

Figura 20 – Bacia Produtora de Água Corumbataí/Tamandupá.

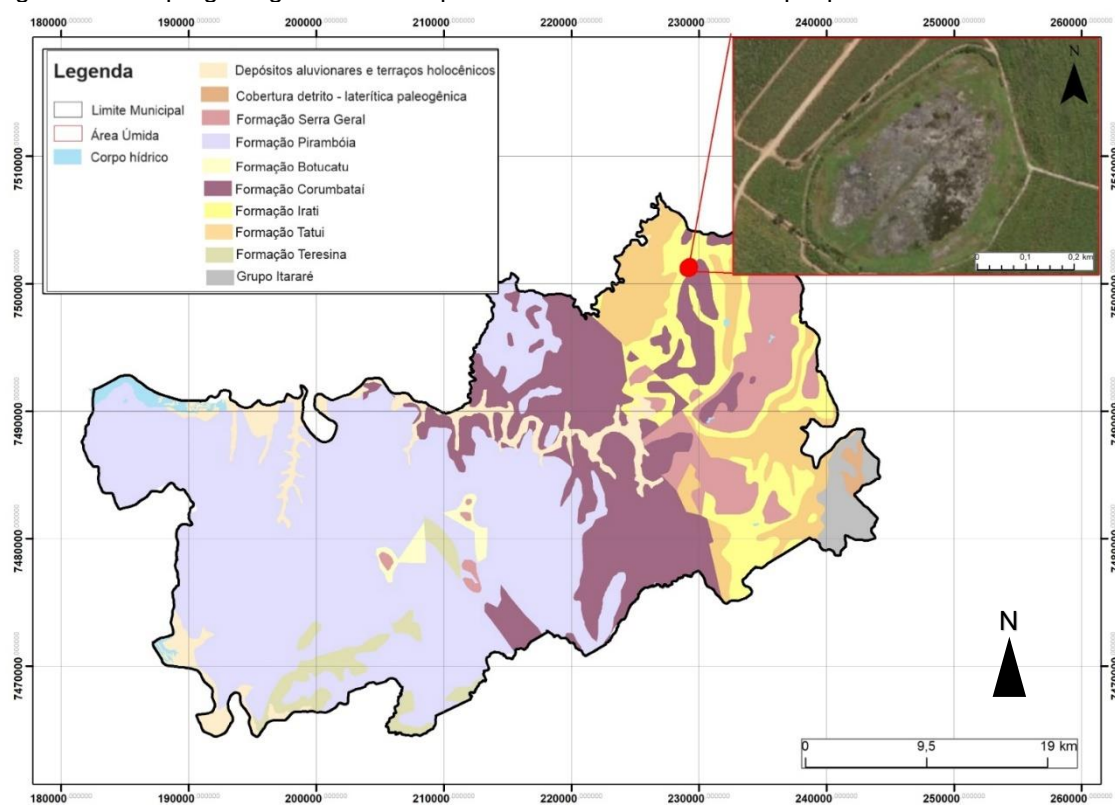


Fonte: Adaptado do Plano Diretor de 2020.

## 4.1 GEOLOGIA

O município de Piracicaba está localizado na Bacia Sedimentar do Paraná, que constitui extensa área intracratônica sul-americana desenvolvida completamente sobre a crosta continental e apresenta sobreposições de rochas sedimentares e intrusões vulcânicas (Almeida, 1967). De acordo com o mapa geológico (Figura 21) elaborado a partir do Banco de dados de informações Ambientais – BDIA pertencente ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE – escala de mapeamento 1:250.000, as unidades geológicas predominantes no município são as Formações Piramboia, Corumbataí, Irati e Serra Geral.

Figura 21 - Mapa geológico do município de Piracicaba com destaque para a área de estudos.



Fonte: Adaptado do BDIA IBGE, 2023.

A área úmida está situada no domínio da Formação Irati, que é subdividida nos membros Taquaral e Assistência, e possui espessura heterogênea, que varia de 10 a 50 metros. O Membro Taquaral é constituído por intercalações de folhelhos cinza-esverdeados escuros e siltitos argilosos acinzentados com

laminações plano-paralelas (Zaine, 1995). São encontrados fósseis de peixes e crustáceos (Simões & Fittipaldi, 1992). Suas características litológicas e sedimentares indicam deposição em ambiente marinho raso, abaixo do nível de ação das ondas (Perinotto & Zaine, 2008). O Membro Assistência é constituído por calcários dolomíticos maciços na base, recobertos por associação heterolítica de folhelhos pretos pirobetuminosos com laminações plano-paralelas e ricos em matéria orgânica intercalados com camadas centimétricas de calcários e silexitos (Perinotto & Zaine, 2008).

A Formação Corumbataí é constituída por um pacote sedimentar de argilitos e siltitos de coloração cinza, e topo constituído de folhelhos arroxeados com estratificação plano-paralela, fendas de ressecamento, laminação cruzada e marcas de ondas (Zaine, 1995). No topo, os pelitos são intercalados com bancos de arenitos muito fino, com laminação cruzada descontínua, muitas vezes, ricos em fragmentos de conchas (Schneider *et al.*, 1974).

A Formação Serra Geral ocorre por toda a Bacia do Paraná com espessura de até 1.500 metros e compreende na sequência de rochas vulcânicas, representadas predominantemente por derrames de lavas basálticas, diques e soleiras de diabásio (Almeida & Barbosa, 1953).

Por fim, a Formação Piramboia, de idade triássica, é caracterizada por espessos bancos arenosos, avermelhados ou rosados, de granulação fina a média, com maior proporção de fração argilosa na porção inferior, intercalados com camadas de lamitos arenosos de cores que variam entre tons claros a amarelo, roxo, vermelho e verde (Soares *et al.*, 1980).

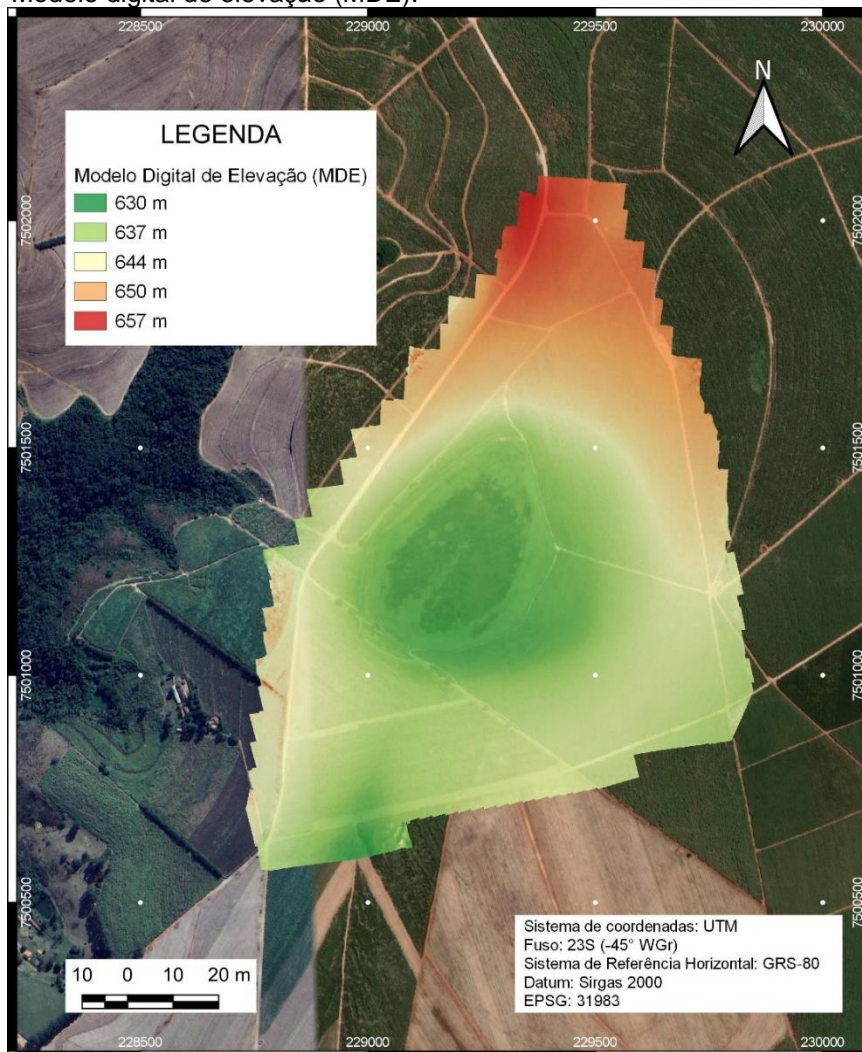
## 4.2 GEOMORFOLOGIA

O município de Piracicaba está situado na Depressão Periférica Paulista e abrange uma região rebaixada por erosão entre terras altas do Planalto Atlântico e as escarpas elevadas das cuestas basálticas do planalto Ocidental. A área do município embora em sua maior parte constituída de sedimentos, apresenta zonas de intrusão de rochas básicas que marcam acentuadamente a

topografia. De modo geral, a topografia é pouco acidentada com desníveis da ordem de 50-100 m entre interflúvios e vales, apresenta altimetria variável entre 450 m na várzea do Tietê à sudoeste, até 750 m nos topos mantidos pelos sills de diabásio, no divisor Tietê-Piracicaba.

A Depressão Periférica Paulista apresenta muitas áreas úmidas isoladas, que estão localizadas em relevo suavizado, com feições geomorfológicas típicas como a forma circular-ovalada, com períodos de cheia e seca bem marcados e sem conexão visível com corpos hídricos (Figura 22) (Tiner, 2003).

Figura 22 - Modelo digital de elevação (MDE).

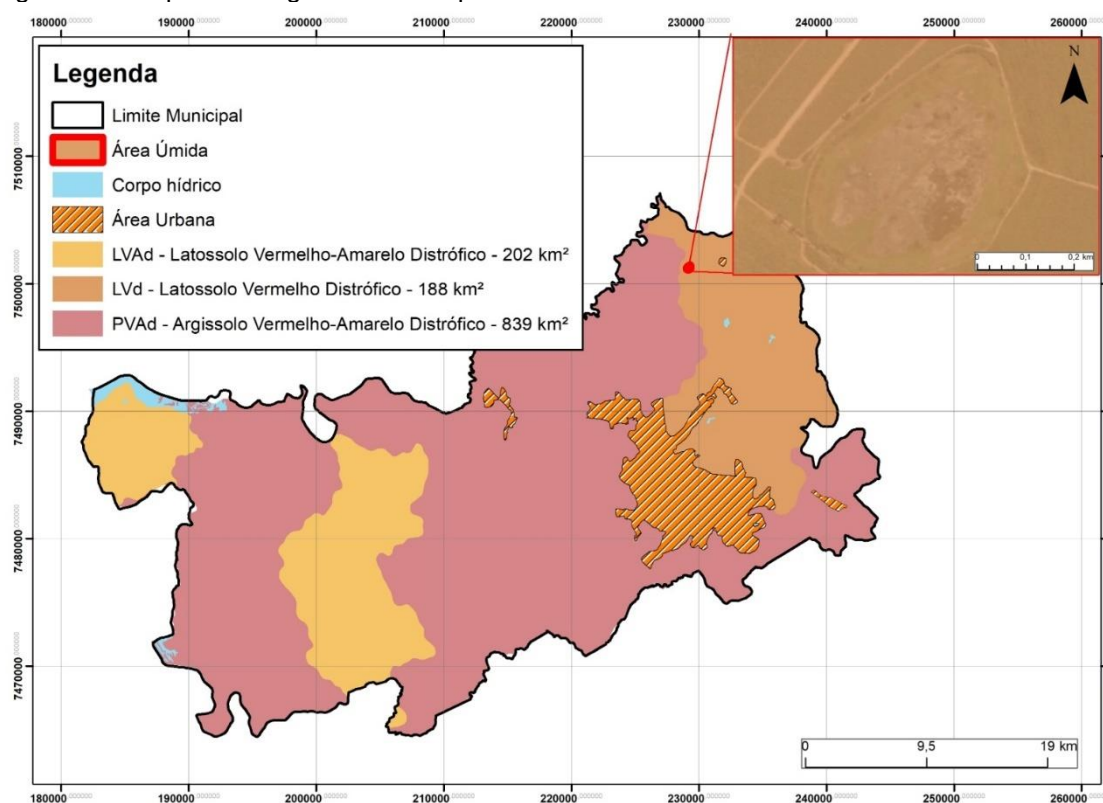


Fonte: Próprio autor.

### 4.3 PEDOLOGIA

De acordo com o Mapa Pedológico, apresentado na Figura 23 e elaborado com base no Banco de Dados de Informações Ambientais – BdiA – escala de mapeamento 1:250.000, o município de Piracicaba possui dois principais tipos de solos: latossolo e argissolo.

Figura 23 - Mapa Pedológico do município de Piracicaba – SP.



Fonte: Próprio autor.

Os latossolos correspondem a 31,5% dos solos brasileiros e são caracterizados pela sua homogeneidade (pouca diferenciação entre os horizontes), normalmente profundos e drenados. No município de Piracicaba, são subdivididos em latossolo vermelho distrófico e vermelho-amarelo distrófico. Os latossolos vermelhos distróficos são solos minerais com teor de óxido de ferro ( $Fe_2O_3$ ) alto e textura argilosa a muito argilosa. Os teores medianos de óxido de ferro ( $Fe_2O_3$ ) caracterizam os latossolos vermelho-amarelos, além da acidez e altos teores de alumínio trocáveis (EMBRAPA, 2018).

Os argissolos vermelho-amarelo distrófico são predominantes no município da área de estudo e são derivados de rochas cristalinas ou ocorrem sob influência destas. Apresentam horizonte de acumulação de argila com cores vermelho-amareladas devido à presença da mistura dos óxidos de ferro hematita e goethita. São solos profundos e muito profundos; bem estruturados e drenados e apresentam principalmente a textura média/argilosa (EMBRAPA, 2018).

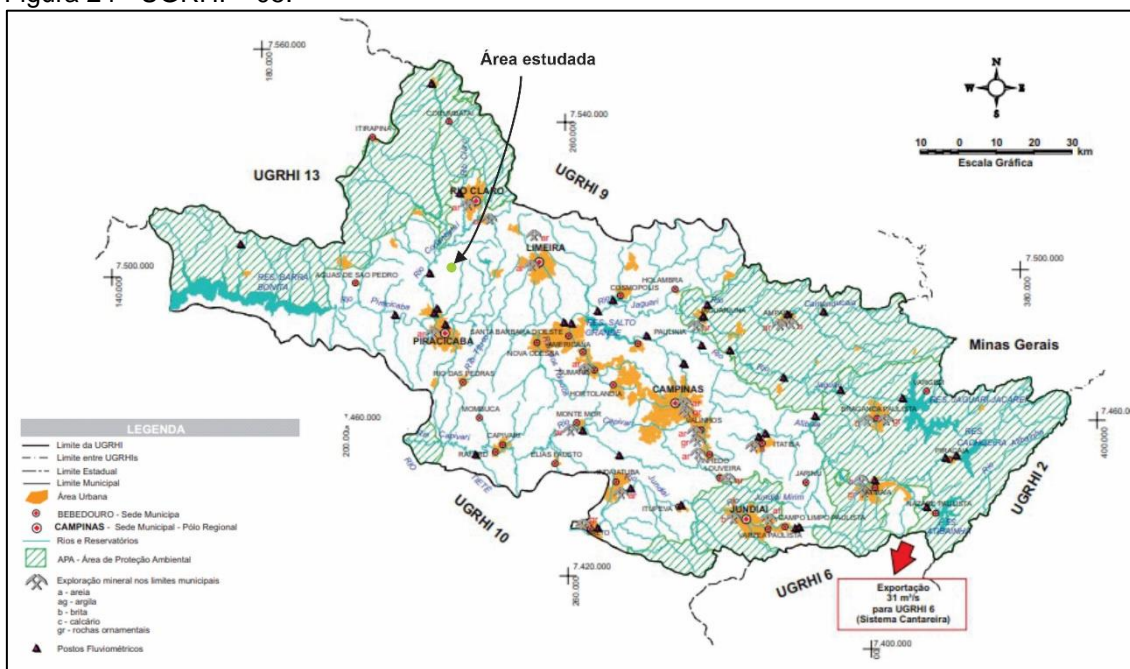
#### 4.4 HIDROGRAFIA

Bacia hidrográfica é definida como a área total de drenagem que sustenta fluxos de água de um sistema fluvial hierarquizado que convergem a um único ponto de saída, o exultório (Borsato e Martoni, 2004). A Lei Estadual nº 7.663/91, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos, dividiu o Estado de São Paulo em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHIs, e criou o Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (CBH-PCJ) no ano de 1993.

A UGRHI 05 é constituída pelas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba (parte paulista), Capivari e Jundiá, com exultórios independentes no rio Tietê. Nesta Unidade de Gerenciamento, que se configura a segunda mais populosa do estado, cerca de 5.700.000 habitantes estão situadas à RMC – Região Metropolitana de Campinas e à RMP – Região Metropolitana de Piracicaba. Uma parcela dos recursos hídricos de superfície das bacias que compõem a UGRHI - 5, em particular da bacia do rio Piracicaba, é transferida, via Sistema Cantareira, para a RMSP – Região Metropolitana de São Paulo (Figura 24).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, o índice de disponibilidade hídrica suficiente para a vida em comunidade é de 2.500 m<sup>3</sup>/hab.ano (ANA, 2022). Esse índice no Estado de São Paulo é de 2.900 m<sup>3</sup>/hab.ano, enquanto na Bacia do rio Piracicaba o índice é crítico, com disponibilidade hídrica inferior a 500 m<sup>3</sup>/hab.ano (CBH-PCJ, 2021).

Figura 24 - UGRHI – 05.



Fonte: Comitê PCJ, 2021.

#### 4.5 CLIMA

Para Alvares, Sentelhas e Dias (2022), ao longo dos mais de 100 anos de coleta de dados na série histórica que a estação meteorológica da ESALQ/USP registrou, surgem evidências sólidas, válidas e fortes que a cidade de Piracicaba - SP está em processo de alteração climática. O município apresentou aumento médio na temperatura de 1,0 °C entre os períodos de 1917 e 2016, o que elevou a temperatura média no verão de 24,5 °C para 25,3 °C e nos meses de inverno de 17,1 °C para 18,3 °C.

O estudo apresentado por Alvares, Sentelhas e Dias demonstra que a condição climática da região está em transição do clima Cfa – clima temperado úmido com verão quente e temperatura superiores a 22 °C no verão e com mais de 30 mm de chuva no mês seco, de acordo com a classificação de Köppen, para Aw com invernos secos, devido a tendência de tropicalização. Assim, Piracicaba começa apresentar um clima mais extremo, com chuvas mais concentradas e maior intensidade de calor, o que prejudica o conforto térmico local (Ashrae, 2005 *apud* Coury e Masiero, 2021).

Para Ranzani (1976), o clima de Piracicaba é tipicamente de transição, com variação na quantidade, intensidade e distribuição das chuvas e temperaturas, o que torna difícil o enquadramento em um tipo climático bem definido; há certa tendência à tropicalidade, expressa por temperatura média anual acima de 20 °C, média do período mais quente (novembro a março), 23 °C e a média do período mais frio (maio a agosto), 17 °C. Tais informações são, em geral, concordantes com aquelas relatadas por Ometto (1989).

De acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007), na classificação de Köppen, o clima Aw é descrito por apresentar o mês mais frio com temperatura média superior a 18 °C, temperaturas críticas para sobrevivência de certas plantas tropicais. As chuvas se concentram no verão e a precipitação pluvial anual é maior do que a evapotranspiração anual.

A precipitação média no município, de acordo com dados da CIIAGRO/IAC, é de 1.253,80 mm, com chuvas concentradas nos meses de verão e estiagens entre o outono e inverno. A taxa de evapotranspiração média é de 997,69 mm. Os detalhamentos das condições climáticas relacionadas à precipitação e evapotranspiração estão apresentados na Figura 39.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

Os trabalhos de campo foram realizados mensalmente durante 12 meses, entre agosto de 2022 e agosto de 2023, onde ocorreu a coleta de dados referente ao nível freático, de forma a permitir uma melhor compreensão do comportamento da área de estudo durante a estação seca e a estação úmida, além da realização de voos com RPAS para monitoramento das variações da lâmina d'água na AUGI.

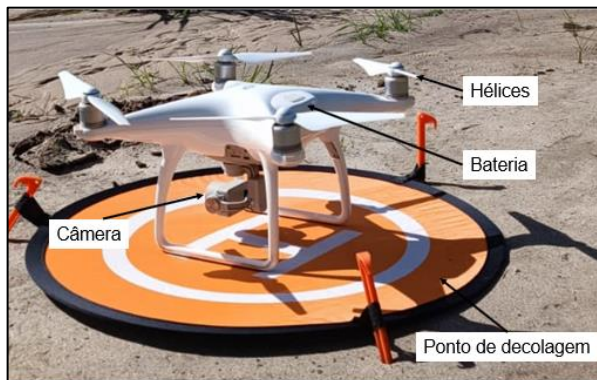
As campanhas de campo ocorreram nos dias 14 de cada mês com margem de quatro dias para mais ou para menos. Foi preconizado o intervalo das 10h às 14h (horário de Brasília) para respeitar a janela de incidência solar que favorece na tomada das imagens por SR.

### 5.1 LEVANTAMENTO AÉREO

O mapeamento da área úmida geograficamente isolada consistiu em duas etapas. A primeira, correspondente ao levantamento da bacia de contribuição do local e a segunda, com o monitoramento mensal da lâmina d'água da área úmida.

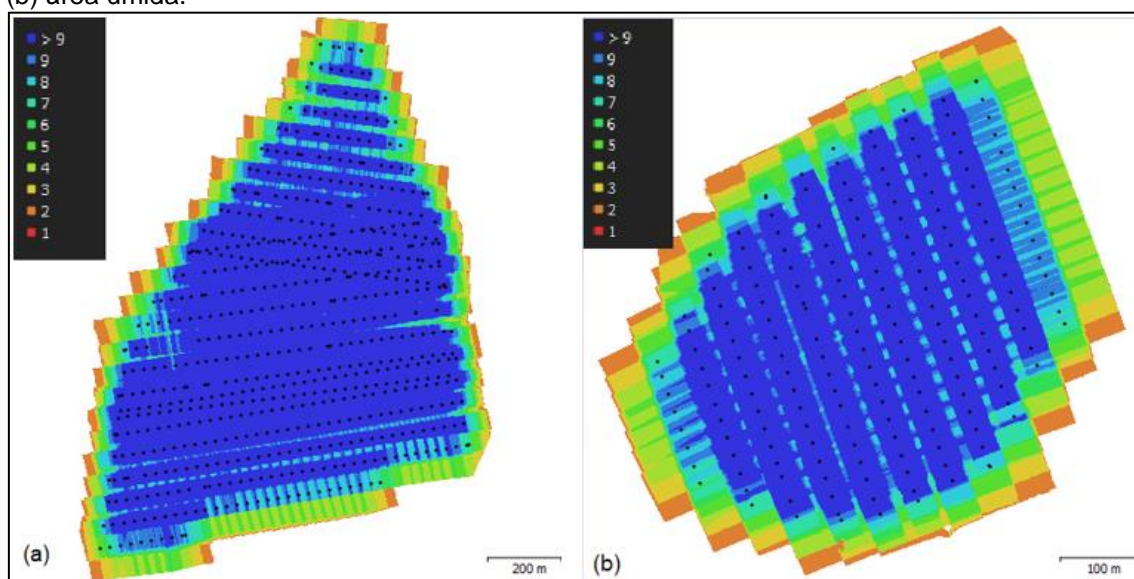
Para ambos os mapeamentos, foi utilizado a RPAS *DJI Phantom 4 Advanced* (Figura 25) com câmera padrão RGB do fabricante FC330 com sensor 1/2.3" CMOS, 12,4 MP (megapixel), abertura 20 mm f/2.8, distância focal 3,61 mm e gimbal nos três eixos (*pitch*, *roll* e *yaw*). Os voos foram automatizados através do *software Drone Deploy* versão 4.159.0 (*edição gratuita*), onde foi adotado a taxa de sobreposição longitudinal em 75% e a sobreposição lateral de 65% com voo em grade simples para ao menos nove sobreposições por cena (Figuras 26 a e b).

Figura 25 - DJI Phantom 4 Advanced.



Fonte: Próprio autor.

Figura 26 – Sobreposição das cenas após processamento de dados. (a) bacia de contribuição e (b) área úmida.



Fonte: Próprio autor.

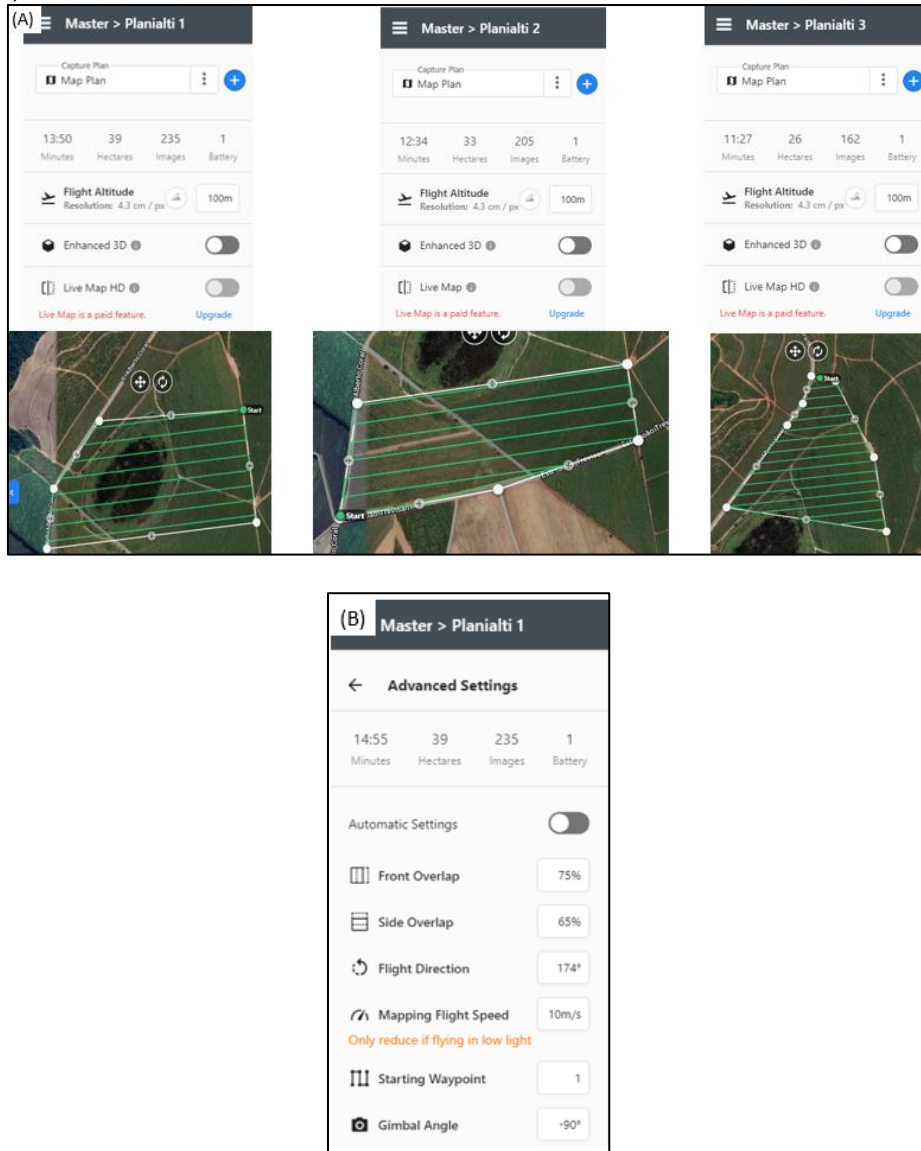
Todas as missões realizadas no local obtiveram prévia autorização do DECEA para uso do espaço aéreo de interesse, as solicitações via SARPAS ocorreram para o perfil de operação PADRÃO, tipo de voo VLOS e altura máxima de 120 m, conforme anexos.

O mapeamento da bacia de contribuição foi realizado com altura de voo em 100 m (AGL) e sua cobertura foi dividida em três planos de voo distintos dada a autonomia das baterias do RPAS (~20 min por voo). As configurações de voo foram: gimbal orientado na perpendicular ao solo ( $-90^\circ$ ) – projeção ortogonal, direção de voo  $174^\circ$ , velocidade de mapeamento 10 m/s e resolução espacial de 4,3 cm/px, conforme Figuras 27 a e b.

Para o acompanhamento mensal, foi criado um novo plano de voo, composto exclusivamente por um único plano e que foi utilizado em todas as

missões até a conclusão do período de monitoramento. A altura de voo foi redefinida para 85 m AGL, o gimbal orientado na perpendicular ao solo (-90°) em projeção ortogonal e a resolução espacial de 3,6 cm/px conforme (Figura 28).

Figura 27 – *Software Drone Deploy* com planos de voo da bacia de contribuição (a) e parâmetros de voo (b).



Fonte: Próprio autor.

Figura 28 – Plano de voo área úmida.



Fonte: Próprio autor.

As imagens obtidas durante os levantamentos aéreos foram processadas através do *software Agisoft Metashape* versão 1.5.1 (*trial*). Ambos os processamentos fotogramétricos utilizaram os mesmos parâmetros para geração dos modelos digitais de elevação e ortomosaico, exceto no item 4, pois foi adotada baixa qualidade durante a construção da nuvem de pontos densa para que o MDE se aproximasse dos MDT gerados através de topografia convencional na área de contribuição.

As etapas que garantem o fluxo de trabalho durante o processamento das imagens no *software Metashape* estão dispostas:

- (1) Importação das tomadas;
- (2) Calibração automática da câmera com base nos dados do EXIF das imagens;
- (3) Alinhamento das aerofotos em qualidade elevada – processo realizado automaticamente a partir da fototriangulação e aerofototriangulação (correspondência de pixels homólogos);
- (4) Construção da nuvem de pontos densa – qualidade baixa para a “área de contribuição” e média para área úmida.

A filtragem da profundidade foi realizada no modo “*Aggressive*” uma vez que tal processamento agrega muito dado e desconsidera pequenas variações;

- (5) Construção da malha triangular (*Build tiled model*) a partir da nuvem densa de pontos com número de faces elevada.

- (6) Construção do MDE (DEM) a partir da malha triangular com interpolação padrão de dados. O sistema de projeção definido foi o EPSG 31983 (SIRGAS 2000, fuso UTM 23S -45°W Gr);
- (7) Construção do ortomosaico a partir da superfície do DEM com o mesmo sistema de referência de saída dos dados.

Foi utilizado o *software* QGIS na versão 3.4 – Madeira para vetorização e delimitação da lâmina d'água dentro da área úmida e no carreador nas imediações do local de interesse. Em conjunto com o QGIS, foi utilizado o *Agisoft Metashape* versão 1.5.1 (*trial*) para complementar o elemento tridimensional (3D) do terreno, de modo a auxiliar na identificação dos alvos. Como complementação à identificação dos alvos, foram utilizadas as filmagens realizadas durante à aquisição das fotografias aéreas, além das aerofotos individuais e recursos de edição de imagem, como saturação e contraste para destacar a vegetação, área úmida, área alagada e área seca, além da averiguação *in situ* dos compartimentos d'água.

O volume total de água na área úmida e a variação do volume ao longo dos 12 meses foram estabelecidos através do método das superfícies equidistantes que correlaciona os modelos digitais de terreno (MDT) criados a partir da triangulação de Delaunay e gerados a partir dos aerolevantamentos no *software topográfico Métrica TOPO* versão 59.52.6-1.

## 5.2 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

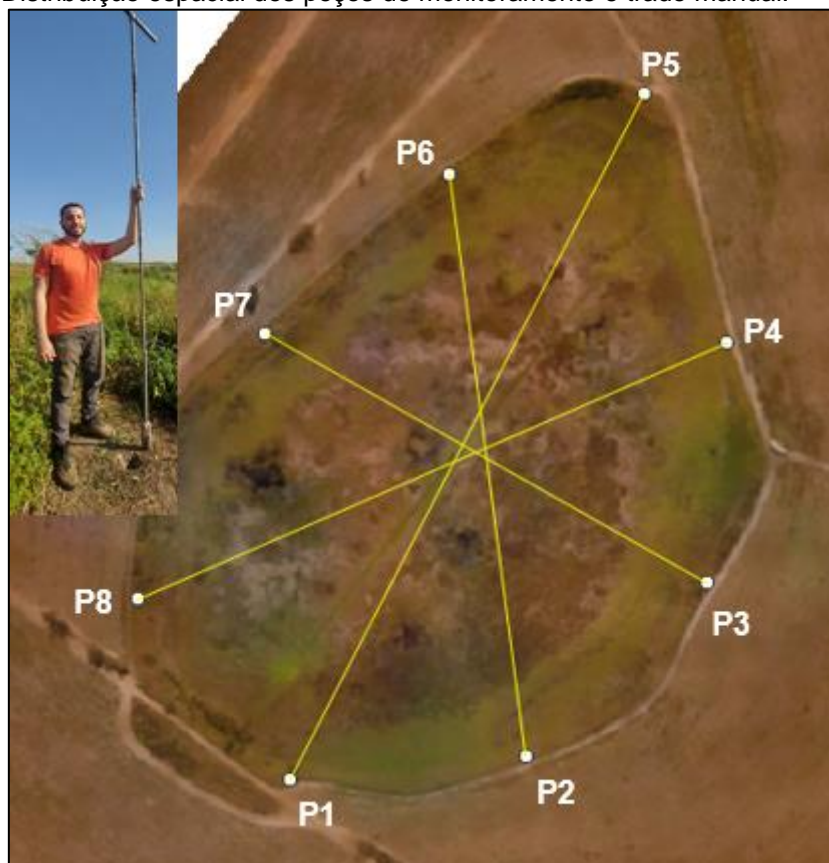
Os dados meteorológicos (pluviosidade e evapotranspiração) foram obtidos com a seleção da estação meteorológica automática V0459 situada no município de Piracicaba – SP, distante 11 km da área de estudo, localizada nas coordenadas geográficas latitude 22° 40' 48" S e longitude 47° 39' 00" W, pertencente à Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, coordenada e operada pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e pelo Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO) com

apoio do Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas de São Paulo (PEMBH). Os dados são disponibilizados semanalmente.

### 5.3 DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DO PERFIL DE SOLO E ENSAIO DE PERMEABILIDADE

Para execução do ensaio de permeabilidade do solo e monitoramento do nível freático, foram realizadas oito perfurações a trado em locais pré-definidos de modo a abranger toda a área úmida (Figura 29). A partir da tradagem, foram recolhidas amostras de solo para descrição morfológica com o auxílio da carta de Munsell.

Figura 29 – Distribuição espacial dos poços de monitoramento e trado manual.



Fonte: Próprio autor.

A profundidade de cada tradagem foi distinta, pois objetivava o afloramento no nível freático até uma altura (h) de pelo menos 0,7 m de coluna

d'água. A Figura 30 demonstra a perfuração com trado manual (a), o diâmetro do furo (b), a instalação do cano de PVC (c); e o isolamento superficial do poço através de cap (d).

Os poços de monitoramento (PM) foram instalados com tubos de PVC com 50 mm de diâmetro com pequenos furos laterais para possibilitar a passagem de água (Figura 31). Foi mantida a altura de 0,1 m (Figura 30c) acima do nível do terreno (NT) para evitar a entrada de sedimentos durante a abertura dos PM para aquisição de dados relacionados à profundidade do NA. O fundo de cada perfuração foi preenchido com material granular para filtragem de material fino.

Figura 30 – Tradagem dos poços de monitoramento.



Fonte: Próprio autor.

Figura 31 – Canos de PVC com furos.



Fonte: Próprio autor.

Para a determinação do coeficiente de permeabilidade de solo ( $K$ ) na área úmida, foi utilizado o ensaio de “tubo aberto” apresentado por Caputo (2015). O ensaio consiste em cravar um tubo de sondagem no terreno até a profundidade

desejada, enchê-lo com água (Figura 32) e medir a velocidade com que a água escoo pelo tubo e em infiltra no terreno, de acordo com o princípio das superfícies esféricas concêntricas.

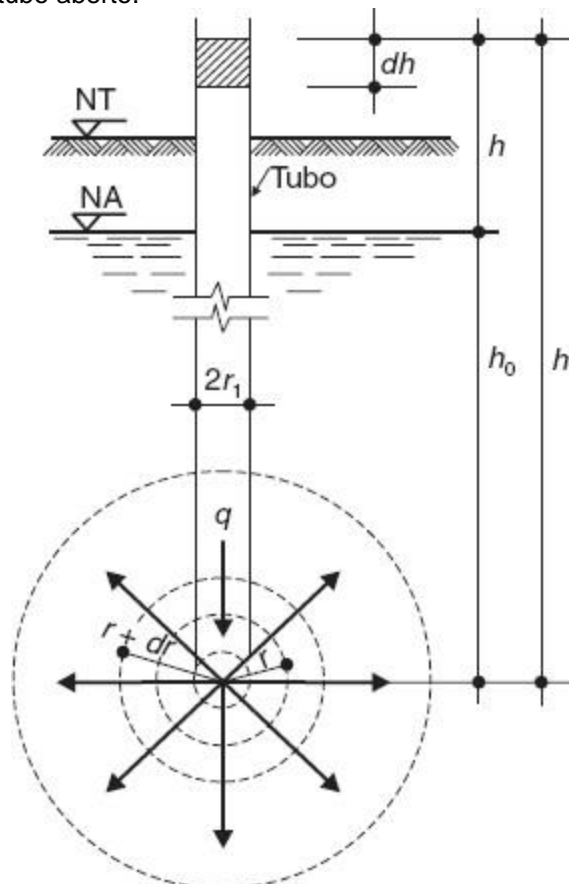
Para uma esfera de raio  $r$ , é descrito:

$$v = \frac{q}{4\pi r^2}$$

e, por outro lado:

$$v = k i = -k \frac{dh}{dr}$$

Figura 32 – Ensaio de tubo aberto.



Fonte: CAPUTO, 2015.

Igualando:

$$\frac{q}{4\pi r^2} = -k \frac{dh}{dr}$$

Ou

$$-dh = \frac{q}{4\pi} \frac{dr}{r^2}$$

Integrando:

$$\int_{h_1}^{h_0} -dh = \frac{q}{4k\pi} \int_{r_1}^{\infty} \frac{dr}{r^2}$$

vem:

$$h_1 - h_0 = h = \frac{q}{4k\pi} \frac{1}{r_1}$$

e daí:

$$q = 4 k \pi h r_1$$

Em vista a continuidade da descarga, é descrito que:

$$\pi r_1^2 dh = q dt$$

onde, ao substituir  $q$  pelo valor anterior, resulta:

$$4 k h dt = r_1 dh$$

ou, finalmente:

$$k = \frac{r_1}{4h} \frac{dh}{dt}$$

Para pequenas variações de  $t$  e as correspondentes de  $h$ , pode-se substituir  $\frac{dh}{dt}$

por  $\frac{\Delta h}{\Delta t}$  e obter:

$$k = \frac{r_1}{4h} \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

que é a fórmula usualmente empregada neste ensaio.

No presente estudo, o método foi adaptado, de modo a não infiltrar água no sistema, mas realizar a instalação de PM com profundidade suficiente para atingir o NA e bombear a água para fora do sistema.

O rebatimento do NA foi realizado com o uso de *bailer*, conforme Figura 33A, com a retirada de 500 mL (Figura 33B) de cada PM e que, convertidos em centímetros, equivalem à variação da altura da coluna d'água ( $\Delta h$ ).

Figura 33 – Uso do *Bailer* (A) e retirada de volume d'água (B).



Fonte: Próprio autor.

A partir do rebaixamento do NA foi contabilizado o tempo ( $\Delta t$ ) para que o PM recuperasse o nível original. A frequência de leituras do nível d'água (nível dinâmico) segue o proposto por Lima e Filho (2003) e exposto na Tabela 3.

Tabela 3 – Frequência de leituras do nível dinâmico.

<b>Tempo decorrido da abertura do PM</b>	<b>Intervalo de leitura do NA</b>
<b>0 – 10 min</b>	A cada 1 min
<b>10 – 20 min</b>	A cada 2 min
<b>20 – 60 min</b>	A cada 5 min
<b>60 – 100 min</b>	A cada 10 min
<b>100 – 180 min</b>	A cada 20 min
<b>A partir de 180 min</b>	A cada 30 min

Fonte: Lima e Filho, 2003.

O monitoramento mensal do NA, bem como a altura medida durante o ensaio de permeabilidade, foram realizados a partir do NT (0 m) com o auxílio de fita métrica (Figura 34).

Figura 34 – Aquisição de dados da coluna d'água.



Fonte: Próprio autor.

Cada PM foi georreferenciado precisamente (Figura 35) a partir da técnica de posicionamento geodésico denominado RTK (*real time kinematic*), os dados foram obtidos a partir do receptor GNSS RTK da marca Stonex modelo S10A, coletora de dados Stonex S4 Plus e do *software* de levantamento de campo SurvCE na versão 3.x. As coordenadas adquiridas são apresentadas no sistema de coordenadas UTM, referenciadas ao elipsoide GRS-80 e *datum* horizontal SIRGAS 2000. As correções das coordenadas em tempo real foram realizadas durante o levantamento de campo através da rede RBMC-IP com a tecnologia *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol* (NTRIP) disponibilizado pelo IBGE a partir da base SPC1 (Campinas – SP).

Figura 35 – Aquisição das coordenadas precisas dos PM.



Fonte: Próprio autor.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 MORFOLOGIA DO SOLO

A descrição macro morfológica dos perfis de solo de P1 a P8 estão apresentadas na Tabela 4. De maneira geral, foram observadas poucas variações no solo na área de estudo com variações nas texturas e estruturas nos diferentes horizontes em profundidade. Em todos os perfis de solo foram encontrados fragmentos de rocha (sílex) provenientes da desagregação do material rochoso oriundos da Formação Irati, predominante na região (Figura 36). A média da profundidade dos PM é de 2,26 m, sendo o P4 o mais raso com profundidade de 1,4 m, fator limitado devido a presença de fragmentos de rocha a partir de 0,6 m e que impediu a penetração com o trado. O P5, por sua vez, apresentou maior profundidade com 3,2 m e características predominantemente argilosas com presença de fragmentos de rocha somente a partir dos 2 m.

Tabela 4 - Descrição macro morfológica dos perfis de solo.

Perfil	Coordenadas UTM - fuso 23 S		Espessura dos horizontes (cm)	Cor	Textura	Estrutura	Feição (quando relevante)
	E(X) (m)	N(Y) (m)					
P1	229.095,20	7.501.059,70	0 - 20	7,5 YR 3/2 bruno escuro desestruturado	Areno-argiloso (areia quartzosa solta)	Pequenas estruturas granulares	

			20 - 60		Argilo-arenoso		Manchas vermelho-amareladas relacionado as raízes
			60 - 80	60 - 70	7,5 YR 2,5/1 bruno escuro muito	Aumento da fração arenosa, grãos próximos a 1 mm	Granular muito pequena, maciço (sem estrutura definida)
				70 - 80			
			80 - 100			Argilo-arenoso com maior plasticidade	Mais estruturado, com presença de grumos. (Possivelmente Alumínio)
			100 - 120		7,5 YR 4/1 cinza escuro	Argilo-arenoso (incremento no teor de argila, porém com presença de areia muito fina), úmido e aumento da plasticidade	Maciço
			120 - 140		7,5 YR 5/1 cinza	Matriz mais úmida e saturada	Matriz mais úmida e saturada

			140 - 180		Reaparecimento de areia grossa		
			180 - 200		Aumento da umidade		
			200 - 220		Maior presença de fração de silte	Maciço	Presença de sílex
			220 - 240	7,5 YR 6/1 cinza	Maior presença de fração de silte, maior saturação	Maciço	Presença de sílex
			240 - 260		Siltoso-argiloso	Maciço, saturado	Fragmentos de sílex da Formação Irati < 1 cm de rocha
P2	229.252,09	7.501.076,85	0 - 20	10 YR 2/2 bruno muito escuro	Argiloso com pouca areia fina	Compacta, maciço, homogênea	Transição gradual
			20 - 40	5 YR 4/1 cinza escuro	Siltoso-argiloso	Pegajoso, não plástico, úmido e homogêneo	
			40 - 50	5 YR 5/1 cinza			
			50 - 60	5 YR 6/1 cinza ligeiramente mais claro		Ligeiramente saprolítico, mais úmido	
			60 - 80				
			80 - 100			Bem saturado (NA)	Presença de sílex < 1 cm

			100 - 120		Siltoso-argiloso com aumento da proporção de areia		
			120 - 140	7 YR 6/1 cinza		Aumento da proporção saprolítica	
			140 - 160				
			160 - 180	2,5 YR 5/1 cinza claro		Aumento no tamanho dos saprólitos com manchas difusas	
P3	229.372,70	7.501.191,27	0 - 20	10 YR 2/1 black	Argilo-arenoso	Grumosas pequenas, friável com poucos grãos de quartzo	Transição clara
			20 - 40				Fragmento de rocha fresca
			40 - 45	10 YR 5/1 cinza	Siltosa	Saprolíticas, compactada, não plástico, pegajosa	Maior teor de umidade
			45 - 60				Maior compactação
			60 - 70	7,5 YR 5/4 bruno com manchas relacionadas a alteração da rocha		Presença de núcleo de rochas pulverulenta possivelmente caulinita	



			170 - 180				Aumento da saturação, presença de muitos fragmentos de rocha tornando impenetrável ao trado
P4	229.385,21	7.501.350,99	0 - 20	7,5 YR 3/2 bruno escuro	Argilo-arenoso	Compacto	
			20 - 40	7,5 YR 3/2		Até 30 cm maior umidade	
						30 - 40 cm mais compacto	Transição abrupta
			40 - 60	7,5 YR 5/1 cinza	Siltoso-arenoso	Pegajoso	
			60 - 80	7,5 YR 5/1 cinza	Fragmentos de rochas		
			80 - 120	2,7 YR 7/1 cinza claro com volumes de 2,5 Y 7/2	Pedregulho (> 2 cm)		Transição lenta, aumento da umidade, amarelado por causa do saprólito
120 - 135		Pedregulho (> 2 cm)	Saturado (NA)				
P5	229.330,59	7.501.516,30	0 - 20	7,5 YR 4/3 bruno	Friável	Desestruturado, material bem seco com presença de quartzo lavado	

					Desestruturado com presença de quartzo lavado e aumento da umidade	
					Argiloso com presença de areia muito fina	Mais compacto
			20 - 30			
			30 - 40			
			40 - 50	5 YR 4/2 cinza avermelhado escuro com raros núcleos ocre		
			50-80	5 YR 4/2 cinza avermelhado escuro com maior volume de núcleos ocre		Mais compacto
			80 - 90	7,5 YR 3/3 bruno escuro com maior umidade		Estruturas grumosas pouco desenvolvidas
			90 - 120	7,5 YR 3/3 bruno escuro	Siltoso-argiloso mais pegajoso com maior umidade	Estrutura saprolítica com pequenos fragmentos de rocha alterada, mais compacto
			120 - 180			Acréscimo de umidade

			180 - 200	5 YR 5/1 cinza	Siltoso-argiloso com presença de areia fina pegajoso	Saprolítico, macico com micro estruturas granulares	Fragmentos de rochas
			200 - 320	Matriz cinza 5 YR 6/1	Argilosa cinza		Presença boneca de sílex - característico da Formação Irati
P6	229.200,65	7.501.463,05	0 - 20	7,5 YR 4/1 cinza escuro	Argilo-arenoso a areno-argiloso com grãos de quartzo	Coesa, maciço	
			20 - 40	7,5 YR 3/1 cinza muito escuro			Maior umidade
			40 - 60	7,5 YR 4/1 cinza escuro			Mais compacto e mais úmido a partir dos 50 cm
			60 - 80	7 YR 5/2 bruno	Argilo-siltoso	Embora maciço com estrutura granular	Aumento progressivo da umidade
			80 - 100	7,5 YR 6/1 cinza	Siltoso-argiloso com aumento da proporção de areia fina		

			100 - 160	7,5 YR 7/1 com volume 7/2 - cinza mais claro e volume amarelados				
			160 - 180	Matriz cinza com volumes 7,5 YR 6/4 bruno vivo	Siltoso-argiloso com aumento da proporção de areia fina			
			180 - 200	Matriz amarela claro com volumes ocre (60%)			Possível presença de pirita na Formação Irati pode contribuir para ferruginação do solo	
			200 - 220			Fragmentos de rochas		
P7	229.096,79	7.501.375,36	0 - 20	5 YR 4/1 cinza escuro	Argilo-arenoso fina	Estrutura compactação	de	Áres grandes e solo muito compactado
			20 - 40					Aumento da umidade
			40 - 60	5 YR 5/1 cinza	Silte-arenoso		Plástica e pegajosa	Aumento da compactação
			60 - 80				Aumento da umidade	

			80 - 100				Transição com estruturas saprolíticas
			100 - 130		Silte-arenoso com acréscimo da fração siltosa	Fragmentos de rochas	Aumento da umidade
			130 - 165	7,5 YR 6/1 cinza			Umidade aumenta progressivamente
			165 - 175	Matriz 7,5 YR 7/1 cinza claro com volumes de 7,5 YR 6/6 amarelo-avermelhado	Siltoso	Saprolítica, compactada e pegajosa	Surgimento de água
			175 - 200				
P8	228.995,90	7.501.215,18	0 - 20	7,5 YR 4/1 cinza escuro	Argilo-arenoso com grãos de quartzo		
			20 - 40	Variação de cor decorrente da umidade			
			40 - 60	7,5 YR 3/2 bruno escuro com volumes 10% 7,5 YR 5/6 bruno vivo	Siltoso-argiloso com areia fina	Mais compacto	
			60 - 80	7,5 YR 2,5/1 bruno muito escuro	Siltoso com areia fina		Transição abrupta

		80 - 120	7,5 YR 5/1 cinza	Siltoso-argiloso com areia fina			
		120 - 140			Mais úmido		
		140 - 180			Mais areia fina		

Fonte: Próprio autor.

Figura 36 – Fragmento de sílex



Fonte: Próprio autor.

## 6.2 MEDIDAS HIDROLÓGICAS

Na Tabela 5 são apresentadas as coordenadas no sistema UTM, a altitude de instalação dos PM ao nível do terreno e a profundidade atingida por cada perfuração até a obtenção da coluna d'água de no mínimo 0,7 m. A localização georreferenciada dos poços de monitoramento (P1 a P8) estão representadas na Figura 29.

Tabela 5 – Coordenadas UTM da extremidade superior dos poços e profundidade de perfuração.

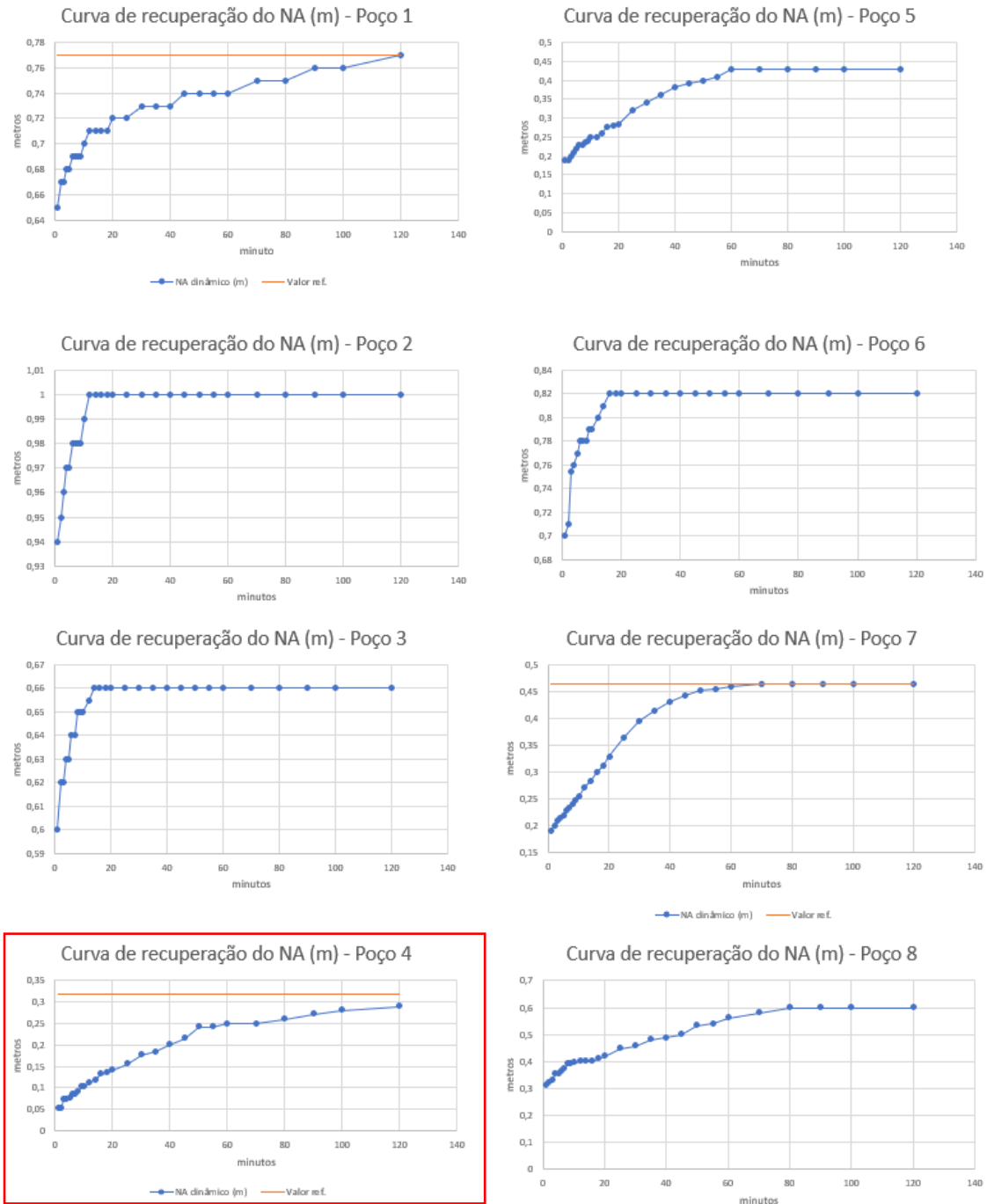
Poços	N(Y) (m)	E(X) (m)	Z (m) nível do terreno	Profundidade (m)
P1	7501059,70	229095,20	635,48	2,7
P2	7501076,85	229252,09	634,87	2,15
P3	7501191,27	229372,70	635,17	1,9
P4	7501350,99	229385,21	634,52	1,4
P5	7501516,30	229330,59	635,16	3,2
P6	7501463,05	229200,65	634,60	2,5
P7	7501375,36	229096,79	635,49	2,1
P8	7501215,18	228995,90	634,62	2,1

Fonte: Próprio autor.

As profundidades de tradagem variam de acordo com a quantidade de fragmentos de rochas e saprólitos existentes no substrato uma vez que minam a capacidade de penetração do trado, outrora devido ao NA mais aflorante.

Após a instalação dos PM, foi aguardado o período de 48h para realização do ensaio de tubo aberto, o mesmo foi realizado uma única vez e as curvas de recuperação dos P1 a P8 são apresentadas na Figura 37 com destaque ao P4.

Figura 37 – Curva de recuperação após ensaio de tubo aberto com destaque ao poço 4.



Fonte: Próprio autor.

De acordo com as características morfológicas identificadas em campo sobre o P4 (Tabela 4), foi observado elevada quantidade de fragmentos de rocha e material com textura grossa próximas a superfície (a partir de 0,6 m de profundidade) o que indica um perfil de solo menos desenvolvido e que pode contribuir com a redução na velocidade de percolação d'água e consequentemente, na recuperação do NA.

Foi realizado o ensaio de permeabilidade para estimar o coeficiente de permeabilidade (K) do solo no limite da área úmida. Os resultados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Ensaio de permeabilidade.

Poço	Altura tubo (m)	Piezômetro NT (m)	Altitude do NA (m)	NA (mm)	K (cm/s)
P1		635,38	633,45	1930	$5,13 \cdot 10^{-6}$
P2		634,77	633,62	1150	$4,17 \cdot 10^{-5}$
P3		635,07	633,83	1240	$3,33 \cdot 10^{-5}$
P4	0,1	634,42	633,34	1080	Sem recuperação
P5		635,06	632,29	2770	$1,45 \cdot 10^{-5}$
P6		634,5	632,82	1680	$4,39 \cdot 10^{-5}$
P7		635,39	633,755	1635	$2,25 \cdot 10^{-5}$
P8		634,52	633,02	1500	$2,44 \cdot 10^{-5}$

Fonte: Próprio autor.

Os coeficientes de permeabilidade indicam que o P1 é o PM com menor velocidade de percolação com K igual a  $5,13 \cdot 10^{-6}$  cm/s, seguido pelo P5 com K de  $1,45 \cdot 10^{-5}$  cm/s, P8 com K de  $2,44 \cdot 10^{-5}$  cm/s, P7 com K de  $2,25 \cdot 10^{-5}$  cm/s, P3 com K de  $3,33 \cdot 10^{-5}$  cm/s, P2 com K de  $4,17 \cdot 10^{-5}$  cm/s e o P6 apresenta maior velocidade de percolação com K igual a  $4,39 \cdot 10^{-5}$  cm/s.

O  $K_{médio}$  da área úmida é de  $2,62 \cdot 10^{-5}$  e de acordo com os valores típicos do coeficiente de permeabilidade proposto por Casagrande e Fadum (Tabela 7), a área úmida está situada em um local com solo permeável, porém com baixa permeabilidade. Esta característica é presente em solos com forte presença de siltes e argilas e as descrições macro morfológica da Tabela 4 corroboram com os perfis de solo amostrados.

Tabela 7 – Valores típicos do coeficiente de permeabilidade (K).

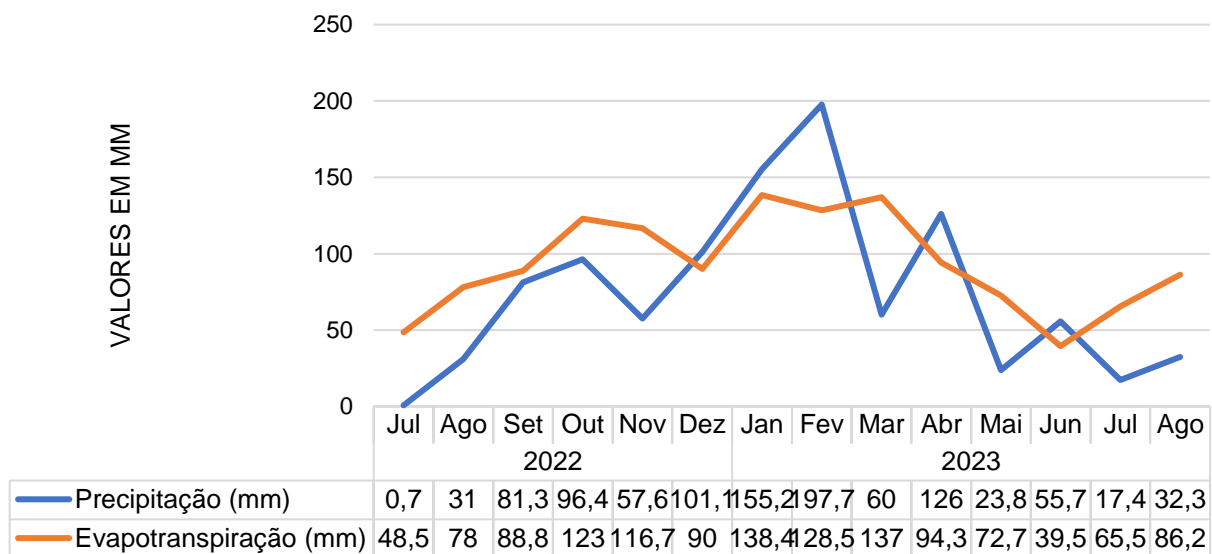
Permeabilidade	Tipo de solo	K (cm/s)
Solos permeáveis	Alta	Pedregulhos
	Alta	Areias
	Baixa	Siltes e argilas
Solos impermeáveis	Muito baixa	Argila
	Baixíssima	Argila

Fonte: Adaptado de Casagrande e Fadum, 1944.

### 6.3 VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

Os dados da estação automática V0459 da CIIAGRO/IAC (Figura 38) para o período correspondente a 2022-2023 demonstram que a precipitação total (1.035,50 mm) foi inferior a taxa de evapotranspiração total (1.258,60 mm), o que indica déficit de -223,1 mm no balanço hídrico (BH) anual simplificado.

Figura 38 – Volume de precipitação e evapotranspiração na área úmida (mm).



Fonte: CIIAGRO, 2023.

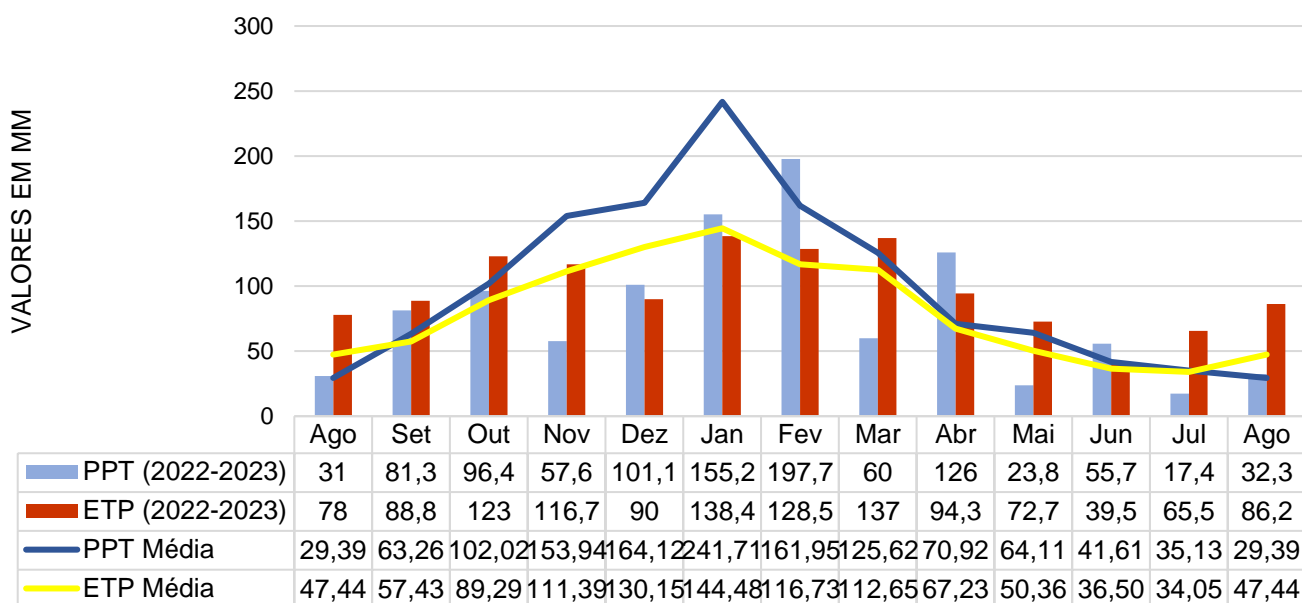
Mesmo com déficit apresentado no BH anual simplificado, os meses de dezembro de 2022, janeiro e fevereiro 2023 contribuíram significativamente com a manutenção da área úmida. A precipitação acumulada nos três meses atingiu 454 mm frente a perda por evapotranspiração de 356,9 mm, os valores refletem a relação da P-ETP (demanda potencial) com superávit de 97,1 mm.

Intercalado entre os meses mais chuvosos do período e o mês de abril de 2023, considerado úmido com superávit de 31,7 mm, está o mês de março de 2023 com elevado déficit de -77 mm.

Com a entrada das estações de outono e inverno, mantém a tendência natural para o período de estiagem com redução gradual nos valores de precipitação mensal de modo a favorecer o déficit na área úmida. E com o início da primavera, os valores de precipitação se elevam e reduzem o déficit conforme exposto nos meses de agosto, setembro, outubro e novembro de 2022 e agosto de 2023.

Para compreender se o comportamento meteorológico apresentado durante o período de estudo foi padrão ou atípico, foi necessário buscar a série histórica climática do município de Piracicaba/SP e confrontar os dados. Foram consultados todos os dados da estação automática V0459 desde seu início de operação, com isso, foi gerado um padrão climático a partir do intervalo de 21 anos de dados que compreendem o período entre 2002 e 2023 (Figura 39).

Figura 39 - Precipitação e evapotranspiração médias (período de 21 anos) e precipitação e evapotranspiração entre os anos de 2022 e 2023 com valores em mm.



Fonte: Próprio autor.

São apresentados no conjunto histórico dos dados, a precipitação (linha contínua azul) e a evapotranspiração (linha contínua amarela) organizados na sequência em que o monitoramento foi realizado com início em agosto de 2022 e finalizado em agosto de 2023.

A partir da confrontação dos dados do período de estudos representados pelas barras azuis (precipitação) e amarelas (evapotranspiração) com a média climatológica foi possível constatar uma anormalidade na distribuição pluviométrica com chuvas aquém do esperado e taxas de evapotranspiração mais intensas provavelmente potencializados pelos efeitos da “La Niña” em 2022 e do “El Niño” em 2023 (Figura 39).

Durante o ano de monitoramento da área úmida foram observadas médias mensais de precipitação, consideravelmente, menores do que a média da série histórica, os meses de verão, apesar de serem os mais úmidos, apresentaram volume de 514 mm frente a média de 693,4 mm, o que representa redução de

26% na precipitação, o total acumulado no ano foi de 1.036,2 mm frente a média de 1.253,80 mm, redução de 17,35%.

A evapotranspiração para o período apresenta, na maioria dos meses, valores superiores à média o que potencializa a redução da água superficial e em subsuperfície, principalmente, quando ocorrem nos meses mais secos. Entre agosto de 2022 e agosto de 2023 houve o aumento de 31% na taxa de evapotranspiração, sendo a média de 997,69 mm e a evapotranspiração registrada de 1.307,1 mm.

Com a Tabela 8 é possível compreender as variações identificadas na região no que tange as diferenças entre os valores da precipitação e evapotranspiração entre os anos de 2022-2023 quando confrontado a média climatológica, em mm.

Tabela 8 - Variações da precipitação (PPT) e evapotranspiração (ETP) entre o período estudado e a média climatológica, em mm.

<b>Ano</b>	<b>Mês</b>	<b>Variação PPT (mm) (período x média)</b>	<b>Variação ETP (mm) (período x média)</b>
2022	Ago.	1,61	30,56
	Set.	18,04	31,37
	Out.	-5,62	33,71
	Nov.	-96,34	5,31
	Dez.	-63,02	-40,15
2023	Jan.	-86,51	-6,08
	Fev.	35,75	11,77
	Mar.	-65,62	24,35
	Abr.	55,08	27,07
	Mai.	-40,31	22,34
	Jun.	14,09	3
	Jul.	-17,73	31,45
	Ago.	2,91	38,76

Fonte: Próprio autor.

Os dados positivos dispostos na Tabela 8 indicam que os valores para o período entre 2022-2023 estão acima da média climatológica, já os valores negativos indicam que estão abaixo. De maneira geral, os dados apontam que 7 meses apresentaram valores pluviométricos inferiores à média climatológica e geraram déficit de -247,67 mm. Para os dados correspondentes a evapotranspiração têm-se um cenário diferente, com 11 meses com valores acima da média e superávit de 213,46 mm.

Em resumo, é esperado anualmente uma precipitação média de 1.253,78 mm e o período apresentou precipitação de 1.035,50 mm, para a evapotranspiração média é esperado 997,70 mm e foi constatado 1.258,60 mm.

A sazonalidade no regime de precipitação e evapotranspiração influencia diretamente na dinâmica da área úmida conforme ilustrado na Figura 40, onde são apresentados os 13 ortomosaicos correspondentes ao monitoramento da área úmida. Foram delimitadas as lâminas d'água no interior da área úmida e a água acumulada no carreador e locais limítrofes, em conjunto as imagens, foram calculados e apresentados os volumes totais estimados de água para cada mês com resultados em m<sup>3</sup>.

Para o cálculo do volume de água superficial total foi adotada a equação 10:

Equação 10:

$$\text{Vol. total (m}^3\text{)} = A \text{ ac. água interna} \times 0,5 \text{ m} + A \text{ ac. água extravasada} \times 0,1 \text{ m}$$

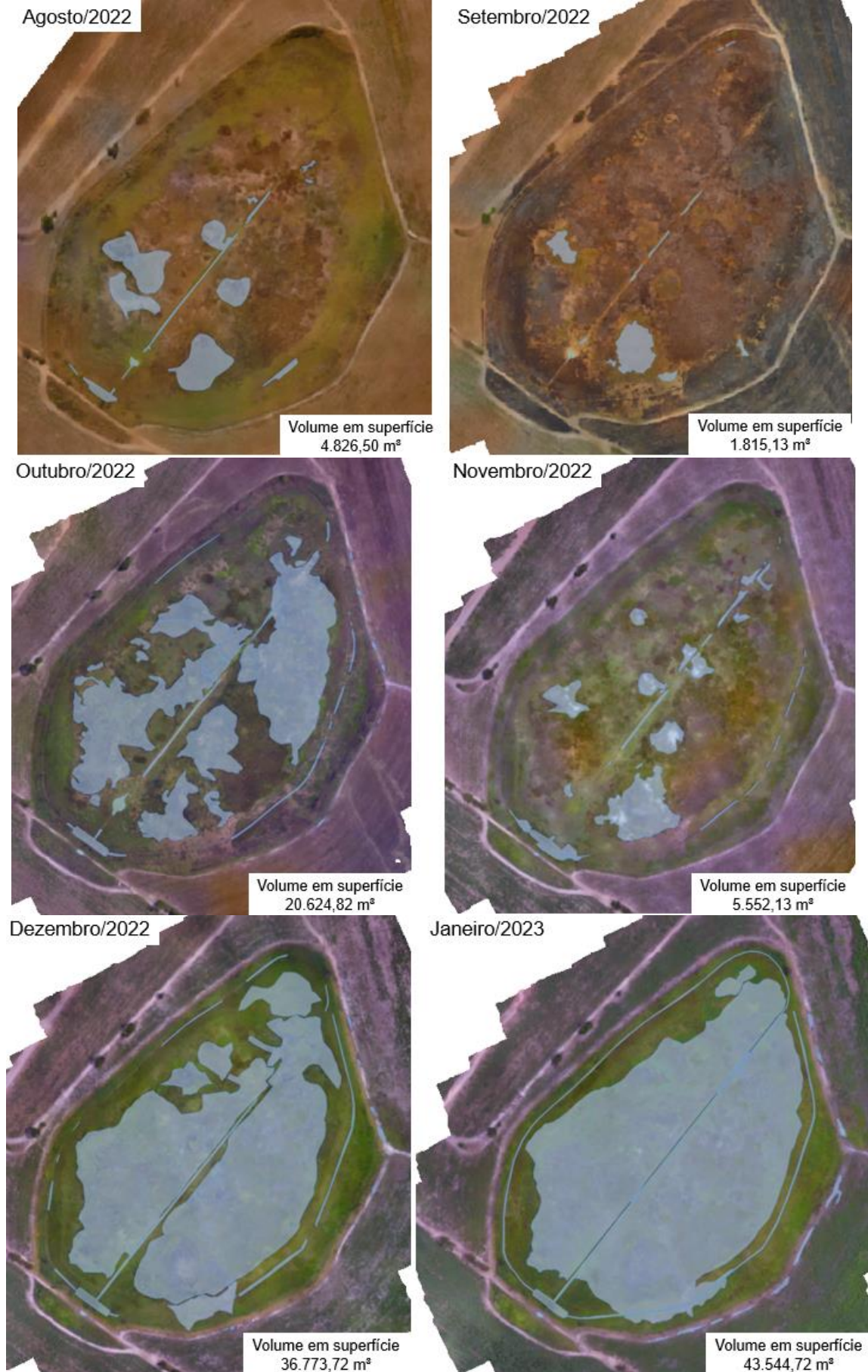
Onde:

A ac.água interna = Área de acúmulo de água no interior da área úmida

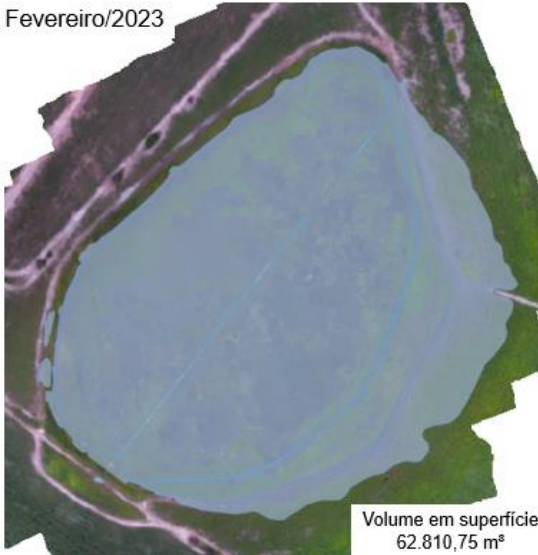
A ac.água extravasada = Área de acúmulo de água extravasada

Os valores de 0,5 m foram obtidos em campo após adentrar a área úmida e medir a altura média dos corpos d'água e 0,1 m é a altura correspondente a lâmina d'água formada no carreador e na área de cultura quando a capacidade da área úmida é extrapolada.

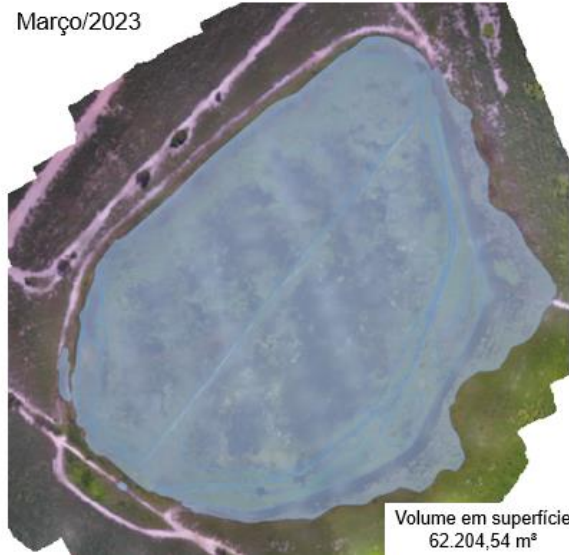
Figura 40 - Monitoramento mensal e acompanhamento da lâmina d'água por RPAS.



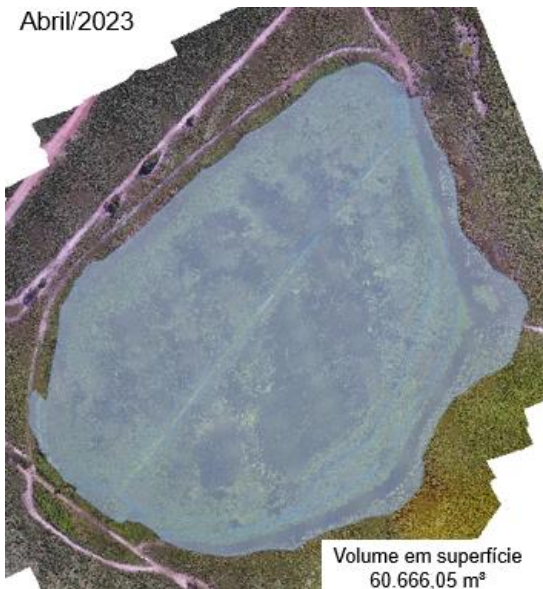
Fevereiro/2023



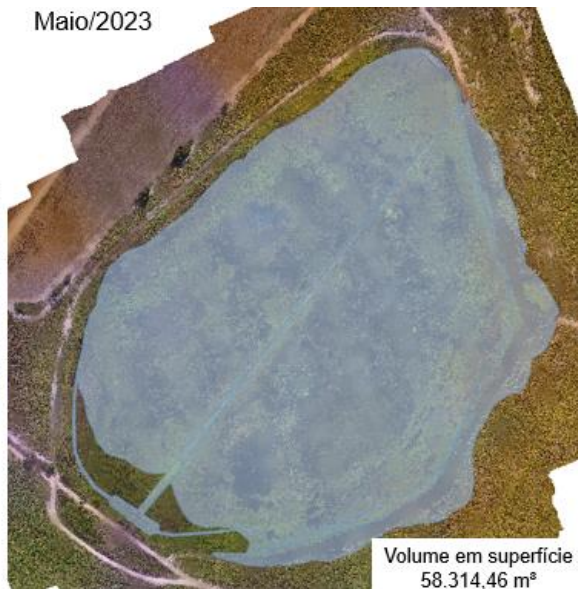
Março/2023



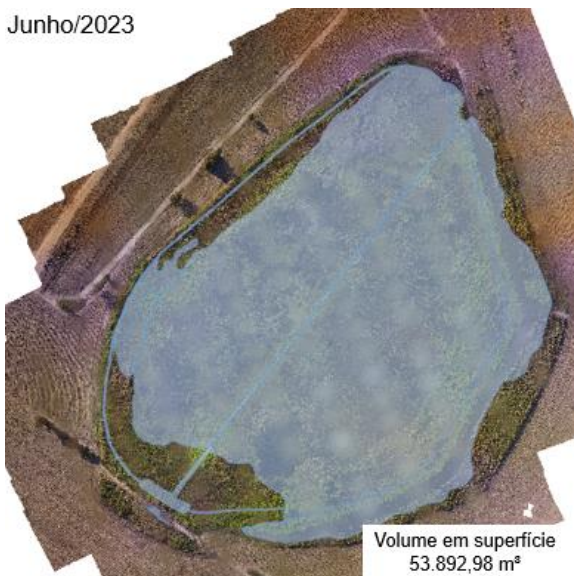
Abril/2023



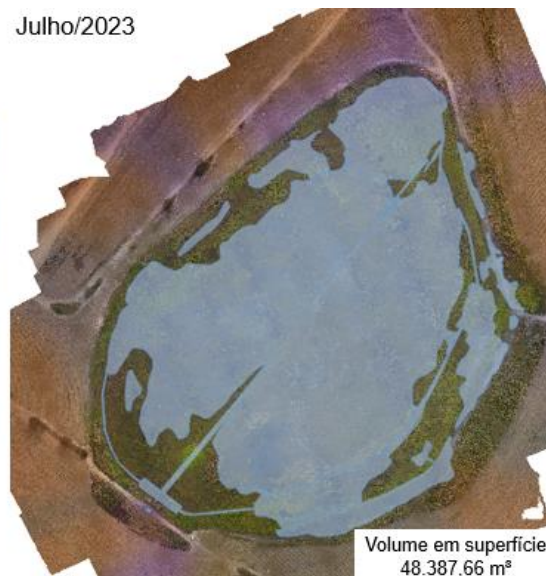
Maió/2023



Junho/2023



Julho/2023



Agosto/2023



Fonte: Próprio autor.

O aumento da lâmina superficial é diretamente proporcional ao volume de precipitação, já o volume acumulado em superfície é potencializado durante o período chuvoso, tal fato é observado no mês de março de 2023, em que, mesmo após apresentar déficit na relação P-ETP foi registrada a segunda maior lâmina de água em superfície. E igualmente proporcional, a baixa precipitação e a elevada evapotranspiração potencializam a redução da lâmina d'água em superfície, conforme observado nos meses de agosto, setembro, outubro e novembro de 2022.

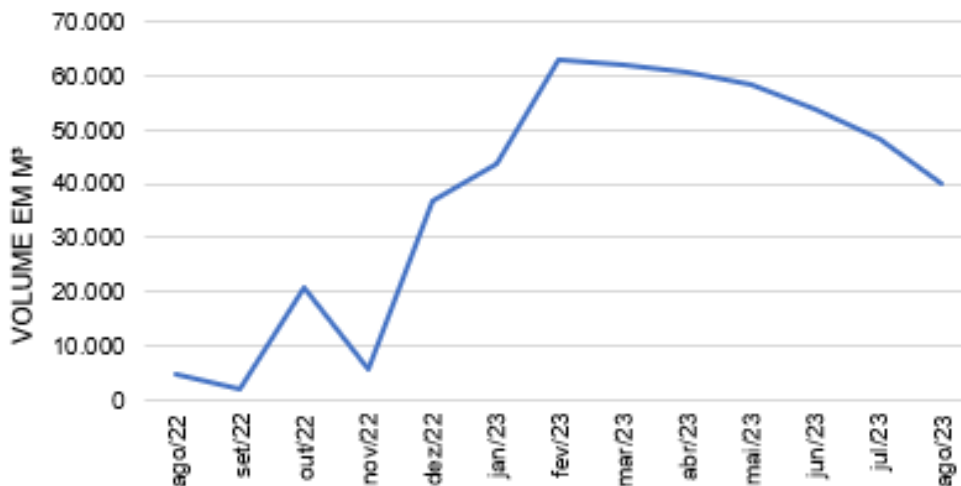
O acréscimo e o declínio do acúmulo de água superficial são esperados de acordo com a mudança das estações do ano e a medida em que se intensificam os efeitos da estiagem e dos períodos chuvosos com precipitações concentradas.

A Figura 41 apresenta os volumes superficiais ( $m^3$ ) previamente delimitados nos ortomosaicos, assim é possível observar a capacidade de armazenamento de água nas áreas úmidas ( $63.810,75 m^3$  em fevereiro).

O destaque está no mês de setembro de 2022 que apesar da queimada sofrida na área ainda apresentou volume de lâmina d'água em superfície com total de  $1.815,13 m^3$ , sendo o período com menor volume registrado. O mês de fevereiro de 2023 apresentou os maiores volumes registrados com montante de

62.810,75 m<sup>3</sup>, sendo assim, é possível computar a amplitude volumétrica no período para o ciclo de 1 ano em de 60.995,62 m<sup>3</sup> (equivalente a 16,2 piscinas olímpicas).

Figura 41 - Volume d'água em superfície (m<sup>3</sup>).



Fonte: Próprio autor

Parte da lâmina d'água presente em superfície é perdida para atmosfera e outra porção é percolada no solo, dessa forma, é possível quantificar a variação apresentada pelo nível freático. Os dados apresentados na Tabela 9 correspondem a profundidade do NA, em mm, para cada poço, mês a mês, durante o período de 1 ano, todas as medidas foram tomadas a partir do nível do terreno (NT) e a esta referência foi adotado o valor de 0 mm.

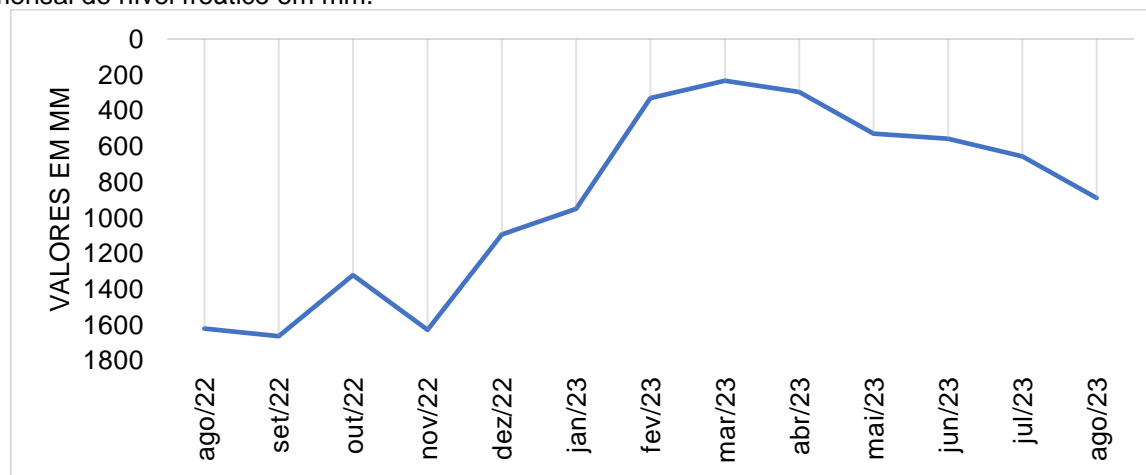
Os valores médios apresentados foram calculados a partir da leitura da coluna d'água dos PM para o respectivo mês e, posteriormente, utilizada a média aritmética simples. A partir dos valores médios correspondentes a variação do nível freático foi possível elaborar a Figura 42, com o objetivo de facilitar a interpretação das relações entre o montante armazenado e a sazonalidade climática ocorrida no período.

Tabela 9 – Monitoramento mensal do NA dinâmico e valores médios da coluna d'água, em mm.

Poços	Ago/22	Set/22	Out/22	Nov/22	Dez/22	Jan/23	Fev/23	Mar/23	Abr/23	Mai/23	Jun/23	Jul/23	Ago/23
P1	1930	2050	1840	2050	1646	1590	490	400	630	1000	1000	1150	1460
P2	1150	1150	855	1152	705	632	100	100	100	100	100	100	100
P3	1240	1225	847	1340	768	396	100	100	100	100	100	100	580
P4	1080	1155	877	1180	610	350	100	100	100	100	100	100	320
P5	2770	2880	2325	2570	1890	1860	820	640	780	1090	1120	1420	1750
P6	1680	1820	1470	1710	1148	1100	400	180	250	440	500	720	940
P7	1635	1510	1175	1555	965	840	500	250	320	520	700	810	950
P8	1500	1535	1190	1485	1030	850	140	100	100	890	850	860	1030
Média	1623,13	1665,63	1322,38	1630,25	1095,25	952,25	331,25	233,75	297,50	530,00	558,75	657,50	891,25

Fonte: Próprio autor.

Figura 42 – Variação média mensal do nível freático em mm.



Fonte: Próprio autor.

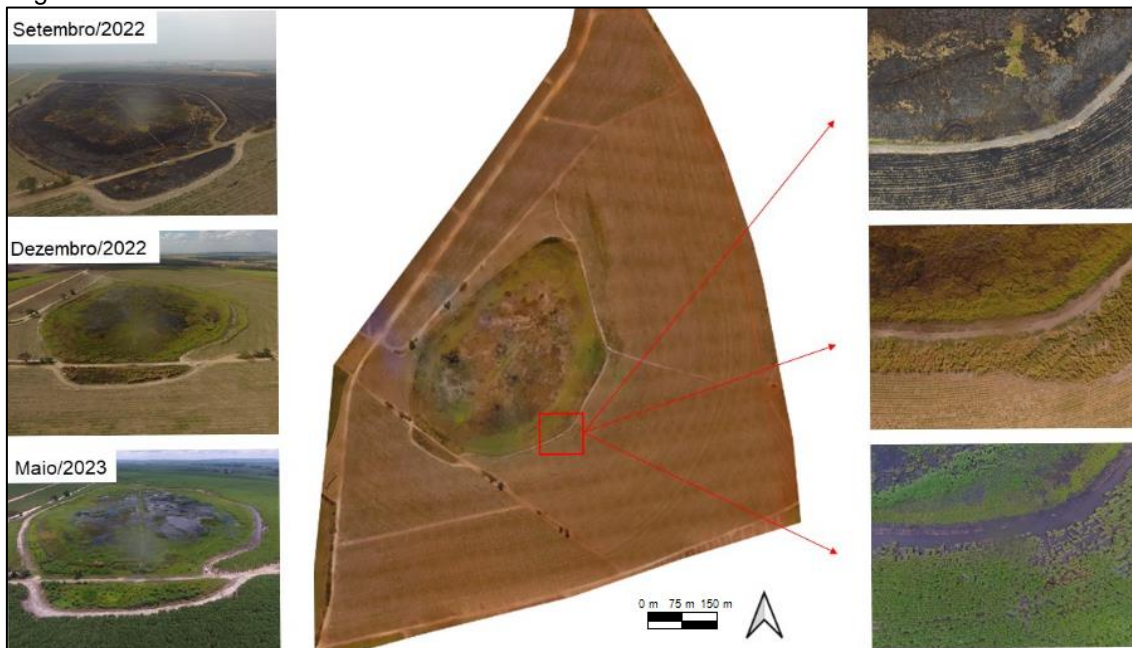
Na Figura 42, os maiores valores médios, como os dispostos nos meses de agosto, setembro e novembro de 2022, representam maior distanciamento do NT e, por consequência, menor quantidade de água retida em subsuperfície com o rebaixamento do nível freático. Quando a água superficial percola, os valores médios do nível freático diminuem, o que indica um aumento no volume retido em subsuperfície e, por consequência, a aproximação do nível freático ao NT, como ocorre principalmente nos meses de fevereiro, março e abril de 2023.

Dessa forma, é possível compreender a importância do regime pluviométrico com o aumento ou diminuição do volume de água armazenado em superfície e em subsuperfície.

## 6.4 INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS

A dinâmica superficial da área úmida apresenta elevada sensibilidade as variações pluviométricas e aos fatores antrópicos, dentre eles, a queimada ocorrida em setembro de 2022, que reduziu a umidade natural do solo no interior da área úmida (Figura 43) assim como verificado nos trabalhos de Furlan, 2019; Franco, 2023 e Casagrande, 2023. Após o evento de queimada, o incêndio atuou como um agente mineralizador da cobertura vegetal, transformadas em cinzas com alto teor nitrogênio, potássio, cálcio e fósforo, que ficam disponíveis para a recuperação do vigor vegetativo das plantas remanescentes (Salomão e Hirle, 2019). Estudos correlacionam a queimada com o aumento na disponibilidade de nutrientes no solo que, aliados a ocorrência de precipitações nos dias subsequentes auxiliam na aceleração e recuperação da vegetação (Pereira et. al., 2016) e da cultura da cana-de-açúcar, bem como, na acomodação da água superficial.

Figura 43 – Efeitos da sazonalidade climática na área úmida.



Fonte: Próprio autor.

As medidas tomadas em campo ao longo da série histórica, agosto de 2022 a agosto 2023 e apresentados na Figura 44 representam a integração da

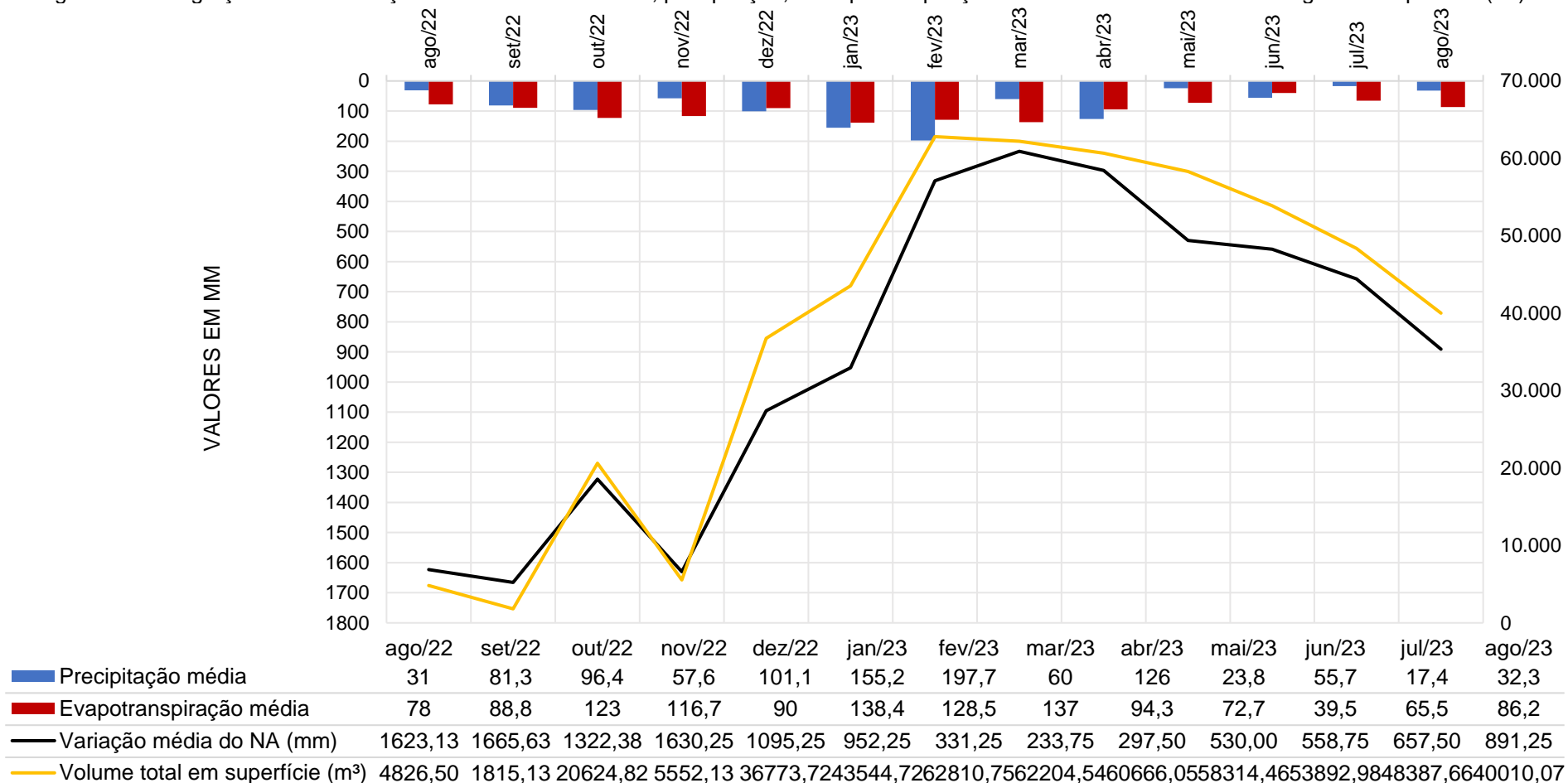
variação média do nível freático monitoradas através dos PM instalados na área úmida, o volume d'água superficial delimitado através do SR de baixíssima altitude e os valores mensais de precipitação e evapotranspiração extraídos da estação V0459 da CIIAGRO/IAC.

Os dados relacionados ao volume da lâmina d'água em superfície são apresentados em m<sup>3</sup> na coluna vertical à direita e as informações referentes a precipitação, evapotranspiração e variação média do nível freático, expressos em mm, na coluna à esquerda do eixo vertical que tem início a partir do valor de 0 mm. A escolha em trabalhar com os valores do eixo "valores em mm" invertido tem como objetivo facilitar a associação entre as curvas do volume de água em superfície e a variação média do NA.

A baixa precipitação e a elevada evapotranspiração dos meses de agosto (PPT 31 mm e ETP 78 mm), setembro (PPT 81,3 mm e ETP 88 mm), outubro (PPT 96,4 mm e ETP 123 mm) e novembro (PPT 57,6 mm e ETP 116,7 mm) de 2022 geraram curvas com os menores volumes em superfície e, como consequência, os maiores valores em mm durante a variação média do NA, ou seja, estão mais distantes do nível do terreno.

A sucessão de meses com perda hídrica tem relevância considerável na área úmida, de forma, a reduzir drasticamente a quantidade de água presente no sistema. O processo de perda, possivelmente, foi intensificado diante do impacto causado pela queimada no mês de setembro de 2022 e que contribuiu para redução do NA (1.630,25 mm) observado em novembro do mesmo ano.

Figura 44 – Integração entre a variação média do nível freático, precipitação, a evapotranspiração mensal em mm e o volume d'água em superfície (m³).



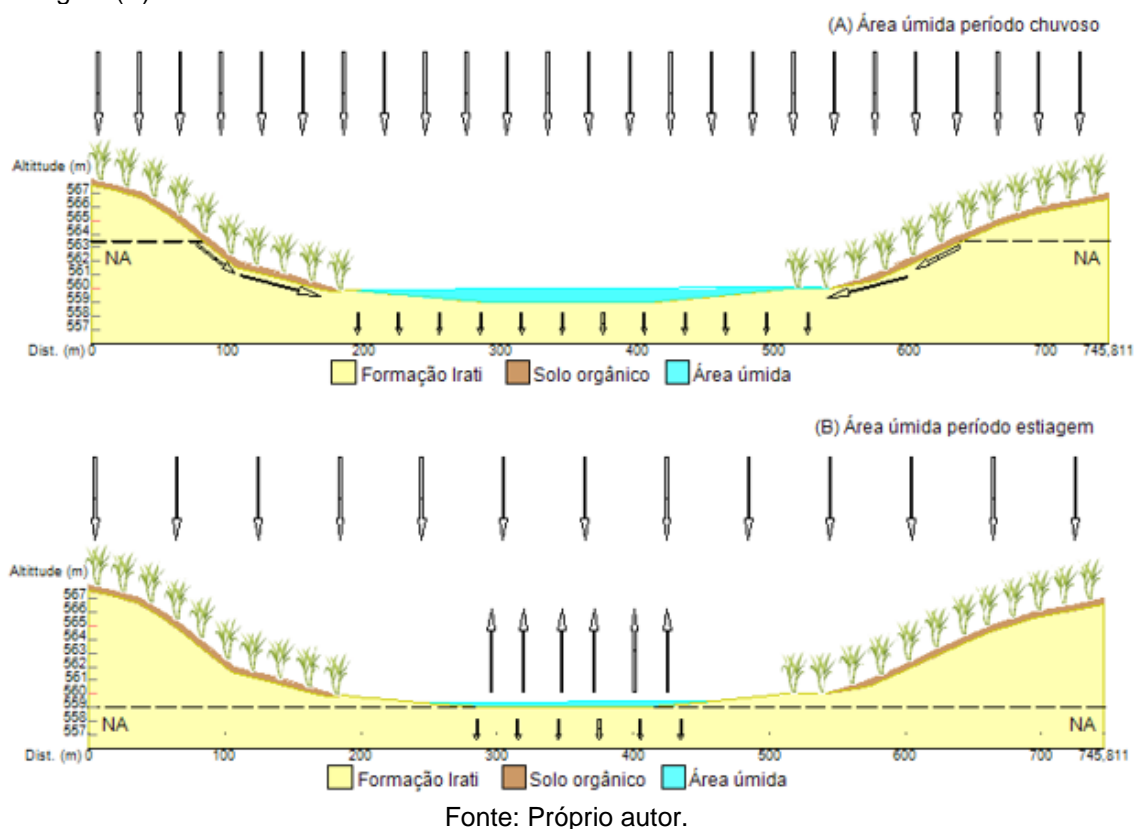
Fonte: Próprio autor.

A pluviosidade dos meses de verão (454 mm) são fundamentais para manutenção da área úmida, pois contribuem diretamente com o aumento da lâmina d'água em superfície e conseqüentemente, com a recarga do nível freático nos meses seguintes devido ao baixo coeficiente de permeabilidade do solo (K).

É possível observar que o maior nível freático ocorreu no mês março de 2023 (297,50 mm), em que, apesar de apresentar a menor precipitação (60 mm) entre os quatro primeiros meses do ano, reflete em maior retenção da água em subsuperfície devido aos volumes precipitados nos meses de dezembro de 2022, janeiro e fevereiro de 2023 (454 mm). O alto volume armazenado presente nos meses de maio (530 mm), junho (558,75 mm) e julho (657,50 mm) de 2023 não são reflexos do baixo volume pluviométrico destes meses (96,9 mm), mas percolação d'água devido a precipitação nos meses de fevereiro, março e abril (209,8 mm) e, possivelmente, do escoamento da vertente.

A partir do mês de março de 2023, com o fim do verão, é observado a redução do índice pluviométrico e o aumento da evapotranspiração (Figura 44) com tendência de redução linear da lâmina d'água em superfície e do NA, porém o mês de maio de 2023 apresentou redução acelerada e não linear no NA o que indica perda de água da vertente para a área úmida (Figura 45A).

Figura 45 – Esquema ilustrativo do perfil da área úmida em período chuvoso (A) e durante a estiagem (B).

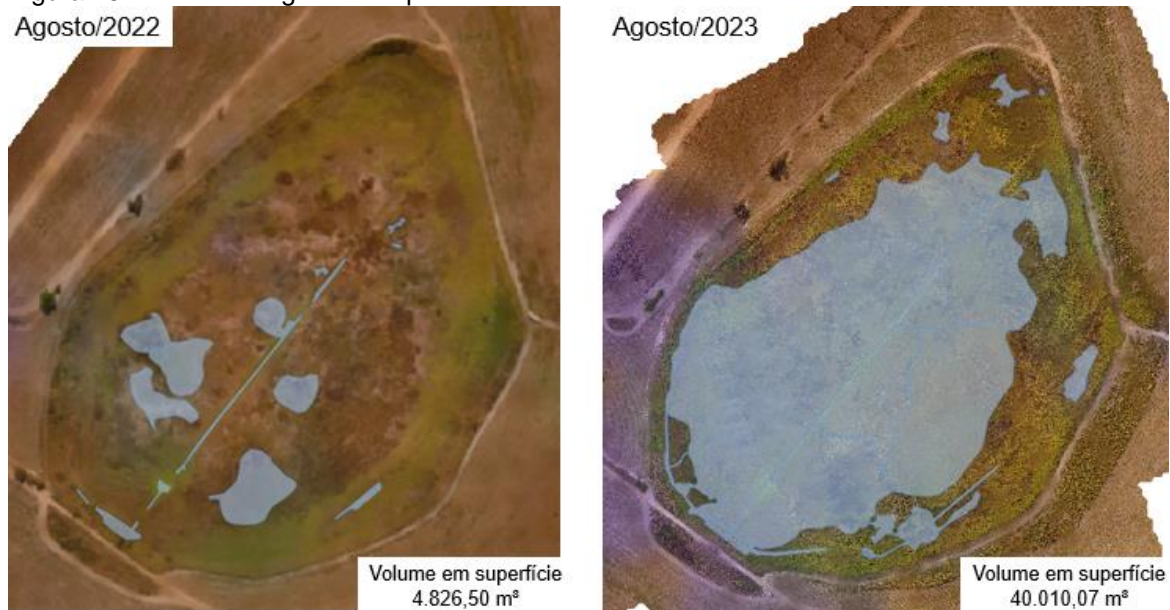


A Figura 45A e 45B, com exagero vertical de 10 vezes a escala do eixo horizontal, representa perfil da área úmida durante o período chuvoso e durante a estiagem respectivamente. O uso e ocupação do solo no entorno é composto exclusivamente pela cultura da cana-de-açúcar, em que, geralmente, o terreno é alterado para se obter uma topografia mais suavizada e mecanizável. Comumente são observados na região curvas de nível e a prática do terraceamento, ambas técnicas promovem a redução do escoamento superficial e intensificam a percolação da água.

Os meses de superávit hídrico contribuem com a elevação do NA em toda bacia de contribuição da área úmida (Figura 45A) e gera um fluxo de água da vertente para o interior da área úmida com taxa de 0,022 m/dia. Para os meses de déficit hídrico, o NA tende a reduzir até se equiparar ao nível de base da área úmida (Figura 45B), o que contribui com a manutenção e preservação da água ao longo do ano todo, mesmo em períodos de elevada perda na relação P-ETP. A sazonalidade meteorológica e o monitoramento constante durante o ciclo permitiram identificar contrastes que a área úmida apresenta ao longo de sua

existência. Na Figura 46 é ilustrada a lâmina d'água em agosto de 2022, primeiro mês de monitoramento e em agosto de 2023, último mês de conferência

Figura 46 – Lâmina d'água em superfície no início e final do ciclo.



Fonte: Próprio autor.

Quando as lâminas d'água são comparadas é perceptível o baixo volume de água disponível na superfície da área úmida em agosto de 2022, a explicação se deve aos quatro meses que o antecedem, abril/22 (PPT 24,12 mm e ETP 56,78 mm), maio/22 (PPT 56,89 mm e ETP 52,1 mm), junho/22 (PPT 13,19 mm e ETP 25,85 mm) e julho/22 (PPT 0,51 mm e ETP 13,03 mm), com chuvas abaixo da média e perdas acumuladas pela evapotranspiração, o que intensifica o déficit hídrico, fato que não ocorreu em igual intensidade nos meses prévios a agosto de 2023 (Figura 44).

Como consequência ao baixo índice pluviométrico, foi identificado o rebaixamento do NA que em agosto de 2022 estava em 1.621,13 mm a partir do nível do terreno e em agosto de 2023, 891,25 mm a partir do nível do terreno, o que constitui variação da ordem de 55% do volume (Figura 43). Com menos água presente nas vertentes da área de contribuição, menores serão as lâminas d'água no interior da área úmida, porém é necessário ressaltar que a área úmida apresentou água em superfície durante todos os meses de monitoramento, sem secar completamente e tal fato, somente é possível se existir a contribuição do nível freático para sua manutenção (Figura 45A e 45B).

## 7 CONCLUSÃO

A utilização da aerofotogrametria de baixa altitude com RPAS demonstrou ser uma importante ferramenta no monitoramento e auxílio ao entendimento da dinâmica superficial de uma área úmida, uma vez que os sensores presentes na aeronave possibilitam a obtenção de imagens com elevada resolução espacial e temporal que permitem determinar as variações da lâmina d'água em superfície.

O estudo indicou que a área úmida é influenciada pelo nível freático das vertentes da bacia de contribuição e estes são responsáveis pela manutenção da lâmina d'água no interior da área úmida ao longo do ano. A Formação Irati presente na região é determinante para existência da área úmida, pois a presença de solo com baixa permeabilidade faz com que a água permaneça por mais tempo em superfície e demore mais tempo para percolar em subsuperfície. O regime pluviométrico e as taxas de evapotranspiração contribuem diretamente com a amplitude das lâminas d'água e, conseqüentemente, regulam a quantidade de água que percola na bacia de contribuição e no interior da área úmida.

Por fim, com base no monitoramento realizado foi possível observar a capacidade de regeneração do ambiente, porém as áreas úmidas são locais que apresentam alta sensibilidade e possuem grande importância no contexto de recarga de aquífero. Por isso, são recomendados outros estudos em áreas úmidas de diferentes localidades com a finalidade de melhor entender essas zonas e com isso adotar práticas de manejo e gestão adequadas em conjunto com políticas públicas para sua preservação.

São sugeridos estudos complementares em outras áreas úmidas para compreensão dos mecanismos que atuam em sua manutenção, além do emprego de RPAS com sensibilidade do sensor alocada em regiões do infravermelho próximo.

## 8 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA), **ODS 6 no Brasil**: Visão da ANA sobre os indicadores. 2ª Edição, 2022. Disponível em: [https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/c93c5670-f4a7-4de6-85cf-c295c3a15204/attachments/ODS6\\_Brasil\\_ANA\\_2ed\\_digital\\_simples.pdf](https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/c93c5670-f4a7-4de6-85cf-c295c3a15204/attachments/ODS6_Brasil_ANA_2ed_digital_simples.pdf) . Acesso em: 15 set. 2022.

AGISOFT METASHAPE. **User Manual**: Professional Edition, Version 1.5, 2019

AHMADI, H., & PEKKAN, E. (2021). Fault-based geological lineaments extraction using remote sensing and GIS—a review. *Geosciences*, 11(5), 183.

ALMEIDA, F. F. M. de; BARBOSA, O. **Geologia das quadriculas de Piracicaba e Rio Claro**, Estado de São Paulo. Ministério da Agricultura, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, 1953.

ALMEIDA, F.F.M. de. Origem e evolução da plataforma brasileira. Rio de Janeiro: DNPM/DGM, **Boletim** 241, 1967.36 p.

ALVARES, C. A., SENTELHAS, P. C. & DIAS, H. B. Southeastern Brazil inland tropicalization: Köppen system applied for detecting climate change throughout 100 years of meteorological observed data. *Theor Appl Climatol* 149, 1431–1450 (2022). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04122-4>

American Society of Photogrammetry (ASP). **Manual of Photogrammetry**, 1966, 1220p.

ANJOS, C. S. **Classificação de áreas urbanas com imagens multiespectrais e hiperespectrais utilizando métodos não-paramétricos**. São José dos Campos: INPE, 2016.

BORSATO, F.; MARTONI, A. M. Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná. *Acta Scientiarum. Human and Social Sciences*, v. 26, n. 2, p. 273-285, 2004.

BRASIL, **Lei 7.565 de 19 de dezembro de 1986** - Código Brasileiro de Aeronáutica, 1986. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L7565.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7565.htm). Acesso em: 10 out. 2023.

BRASIL, **Panorama do Saneamento Básico no Brasil**. Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional – Brasília/ DF, 2021.

BRITO, J. L. N. e S.; COELHO FILHO, L. C. T. **Fotogrametria Digital**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2007.

CÂMARA, G., SOUZA, R. C. M., FREITAS, U.M., GARRIDO, J. Spring: **Integrating remote sensing and gis by object-oriented data modelling. Computers & Graphics**, Vol. 20: (3) 395-403, May-Jun 1996. DOI: [https://doi.org/10.1016/0097-8493\(96\)00008-8](https://doi.org/10.1016/0097-8493(96)00008-8)

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**, volume 1: fundamentos / Homero Pinto Caputo, Armando Negreiros Caputo, J. Martinho de A. Rodrigues. - 7.ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2015.

CARRILHO, A. C. **Aplicação de técnicas de processamento e análise de imagens para detecção de edificações e vegetação a partir de dados LiDAR**. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) PPG-CC - Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente/SP, 2016.

CASAGRANDE, A.; FADUM, R. E. Application of soil mechanics in designing building foundations. **Transactions of the American Society of Civil Engineers**, v. 109, n. 1, p. 383-416, 1944.

CASAGRANDE, M. F. S. **Estudo das funções hidrogeológicas e ecológicas de área úmida geograficamente isolada em regiões de cultivo de cana-de-açúcar**. Tese IGCE, Unesp *campus* Rio Claro, 2023.

CBH-PCJ, **Relatório de Situação das Bacias PCJ – UGHRI 05 – 2021** (Ano Base 2020), 2021. Disponível em: <https://agencia.baciaspcj.org.br/wp-content/uploads/Relatorio-de-Situacao-dos-Recursos-Hidricos-nas-Bacias-PCJ-2021-Ano-Base-2020.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2022.

CIIAGRO. Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline>. Acesso em: 25 set. 2023.

COLWELL, Robert N. Some practical applications of multiband spectral reconnaissance. *American Scientist*, v. 49, n. 1, p. 9-36, 1961.

COSTA, S. M. A., LIMA, M. A. A., MOURA JUNIOR, N. J. de, ABREU, M. A., DA SILVA, A. L. e FORTES, L. P. S. RBMC em Tempo Real, via NTRIP, e seus benefícios nos levantamentos RTK e DGPS. **II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, v. 2, p. 8-11, Recife, PE, 2008.

COURY, B. S., MASIERO, E. A Influência das safras agrícolas na configuração das ilhas de calor urbano em áreas periurbanas do município de Piracicaba (SP). 9º congresso luso-brasileiro para o planejamento urbano, regional, integrado e sustentável (pluris 2021 digital) Pequenas cidades, grandes desafios, múltiplas oportunidades 07, 08 e 09 de abril de 2021. 13p. Disponível em: <https://pluris2020.faac.unesp.br/Paper1027.pdf>. Acesso em: 10 out. 2023.

CRUZ, C. B. M., DE BARROS, R. S., CARDOSO, P. V., REIS, R. B.; ROSÁRIO, L. S.; BARBOSA, S.S.; RABACO, L. M. L.; LOURENÇO, J. S. Q. Avaliação da exatidão planialtimétrica dos modelos digitais de superfície (MDS) e do terreno (MDT) obtidos através do LIDAR. Anais **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, v. 30, p. 5463, 2011.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA), **ICA 100-40: Aeronaves Não Tripuladas e o acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro**, Ministério da Defesa - COMANDO DA AERONÁUTICA, 2023. Disponível em: <https://publicacoes.decea.mil.br/publicacao/ica-100-40>. Acesso em: 03 ago. 2023.

DE BARROS, R. S.; CRUZ, C. B. M., RABACO, L. M. L., FAGUNDES, F. O., SA, C. P. B. Avaliação da Exatidão Planialtimétrica de Produtos Oriundos de Radar Interferométrico e Lidar em Área Coberta por Floresta. In: **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013.

DOBBERTEEN, R.A., NICKERSON, N.H. Use of created cattail (Typha) wetlands in mitigation strategies. *Environmental Management* 15, 797–808, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02394817>

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa 2018.

EULISS JR, N. H.; MUSHET, D. M. Impacts of water development on aquatic macroinvertebrates, amphibians, and plants in wetlands of a semi-arid landscape. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, v. 7, n. 1, p. 73-84, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1080/14634980490281335>

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. São Paulo, 2005. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos\\_sm](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm). Acesso em: 10 set. 2023.

FLENER C, VAAJA M, JAAKKOLA A, KROOKS A, KAARTINEN H, KUKKO A, KASVI E, HYYPPÄ H, HYYPPÄ J, ALHO P. Seamless Mapping of River Channels at High Resolution Using Mobile LiDAR and UAV-Photography. *Remote Sensing*. 2013; 5(12):6382-6407. <https://doi.org/10.3390/rs5126382>

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**, Oficina de textos, São Paulo/SP, 2002.

FORTES, L. P. S. **Operacionalização da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC)**. Diss. Instituto Militar de Engenharia, 1997.

FRANCO, I. O. **Avaliação química e de fluxo das águas em área úmida sobre diabásio, Cordeirópolis (SP)**, Diss. IGCE, Unesp *campus* Rio Claro, 2023.

FRANKE, A. E. **Desempenho de receptores GPS de Navegação no Posicionamento Absoluto**. Monografia curso de Especialização, UFPR, Curitiba, 2011.

FURLAN, L. M. **Hidrodinâmica em área úmida de cerrado na chapada sedimentar do oeste mineiro**. Diss. IGCE, Unesp *campus* Rio Claro, 2019.

FURLAN, L. M.; ROSOLEN, V.; SALES, J.; MOREIRA, C.; FERREIRA, M.; BUENO, G.; MOUNIER, S. Natural superficial water storage and aquifer recharge assessment in Brazilian savanna wetland using unmanned aerial

vehicle and geophysical survey. *Journal of Unmanned. Vehicle Systems*, 8 (3), p. 224–244, 2020.

GALO, M. **Aspectos de Automação do Processo Fotogramétrico – Parte 2: Geração de MDT**. Notas de aula de Fotogrametria III. Departamento de Cartografia, UNESP, Presidente Prudente, 2012.

GARCÍA-MUÑOZ, E.; GILBERT, J.D.; PARRA, G.; GUERRERO, F. Wetlands classification for amphibian conservation *In* Mediterranean landscapes. *Biodivers. Conserv.* 2010, 19, p. 901–911. DOI: 10.1007/s10531-009-9747-7

GILLIJNS, K.; POESEN, J.; DECKERS, J. **On the characteristics and origin of closed depressions in loess-derived soils in Europe** — A case study from central Belgium. *Catena*, v. 60, n. 1, p. 43-58, 2005. DOI: 10.1016/j.catena.2004.10.001

GLEICK, P. H. Basic Water Requirements for Human Activities: Meeting Basic Needs, *Water International*, 21:2, 83-92, 1996. DOI: 10.1080/02508069608686494

GRUEN, A. (Cap 2) Scientific-technological developments in photogrammetry and remote sensing between 2004 and 2008. *In: Advances in Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: 2008 ISPRS Congress Book – Li, Chen & Baltsavias (eds)*. Londres: Taylor & Francis. P. 21-25. 2008.

GUEDES, J. C. F., SILVA, S. M. P. Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação: princípios físicos, sensores e métodos. *Revista: ACTA Geográfica*, UFRR, 2018. DOI: 10.18227/2177-4307.acta.v12i29.4001

GUO, M., Li, J., SHENG, C., XU, J., & WU, L. (2017). A review of wetland remote sensing. *Sensors*, 17(4), 777. DOI: 10.3390/s17040777

HAN, L., LIU, Z., NING, Y., & ZHAO, Z. (2018). Extraction and analysis of geological lineaments combining a DEM and remote sensing images from the northern Baoji loess area. *Advances in Space Research*, 62(9), 2480-2493. DOI: 10.1016/j.asr.2018.07.030

HEIPKE, C. A Review of the State-of-art for Topographic Application: Digital Photogrammetric Workstations. *GIM International*, Vol.15 No. 3. 2001.

HENSEL, B. R.; MILLER, M. V. Effects of wetlands creation on groundwater flow. *Journal of Hydrology*, v. 126, n. 3-4, p. 293-314, 1991.

HIRT, C. Digital Terrain Models. *Encyclopedia of Geodesy*, Springer, 2014.

HOPWOOD, B.; MELLOR, M.; O'BRIEN, G. Sustainable development: mapping different approaches. *Sustainable Development*, n. 13. 2005. DOI: 10.1002/sd.244

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Banco de Dados de Informações Ambientais (BDiA)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em < <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/geologia> > Acesso em 05 set 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **IBGE operacionaliza seis novas estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo e publica as séries temporais de redes geodésicas**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/38684-ibge-operacionaliza-seis-novas-estacoes-da-rede-brasileira-de-monitoramento-continuo-e-publica-as-series-temporais-de-redes-geodesicas>> Acesso em 02 out 2024.

ITAME, C. V. **Controle de Qualidade Aplicado na Modelagem Digital do Terreno**. Dissertação de Mestrado em Ciências Cartográficas. UNESP Presidente Prudente, 2001, 91p.

JAVAID, M., HALEEM, A., RAB, S., SINGH, R. P., & SUMAN, R. (2021). Sensors for daily life: A review. *Sensors International*, 2, 100121. DOI: 10.1016/j.sintl.2021.100121

JENSEN, J. R. (2009) **Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. Translated by: Epiphanyo, J.C.N., Formaggio, A.R., Santos, A.R., Rudorff, B.F.T., Almeida, C.M., Galvão, L.S., Parêntese, São José dos Campos, 598 p. 2011.

JORGE, L. A de C.; INAMASU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. Embrapa Instrumentação-Capítulo em livro científico *In*: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 109-134. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/114264/1/CAP-8.pdf>> Acesso em 25 jan.2023.

JOSEPH, G. How well do we understand Earth observation electro-optical sensor parameters? ISPRS, **Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, 2000. DOI: 10.1016/S0924-2716(00)00004-6

JUNK, W. J., PIEDADE, M. T. F., LOURIVAL, R., WITTMANN, F., KANDUS, P., LACERDA, L. D., BOZELLI, R. L., ESTEVES, F. A., DA CUNHA, C. N., MALTCHIK, L., SCHÖNGART, J., SCHAEFFER-NOVELLI, Y., AGOSTINHO, A. A. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 24, n. 1, p. 5-22, 2014. DOI: 10.1002/aqc.2386

KAHRAMAN, I., KARAS, I. R., & AKAY, A. E. (2018). Road extraction techniques from remote sensing images: A review. The International Archives of the Photogrammetry, **Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, 42, 339-342. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-4-W9-339-2018

KLEMAS, V. (2011). Remote sensing of wetlands: case studies comparing practical techniques. **Journal of Coastal Research**, 27(3), 418-427. DOI: 10.2307/29783262

KLOPF, S., DANIELS, W. L., WICK, A. F., WHITTECAR, G. R., HAUS, N. Beneficial use of dredge materials for soil reconstruction and development of dredge screening protocols. **Journal of environmental quality**, v. 45, n. 1, p. 62-73, 2016. DOI: 10.2134/jeq2014.12.0529

KOŁODYŃSKA-GAWRYSIAK, R.; POESEN, J. Closed depressions in the European loess belt–Natural or anthropogenic origin? **Geomorphology**, v. 288, p. 111-128, 2017. DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.02.004

KRUEGER, C.P.; HUINCA, S.C.M.; MAIA, O.C. **Método de posicionamento absoluto, qual precisão pode ser obtida atualmente?** Curitiba, UFPR, 2006.

LIANG, S., & WANG, J. **Advanced remote sensing: terrestrial information extraction and applications**. Academic Press, 2019.

LIMA, A. A., & FILHO, J. V. **Procedimentos para a realização de testes de bombeamento em poços tubulares utilizados no aproveitamento de águas minerais**. DNPM, Pernambuco, 2003.

**Manual do Usuário software TopoEVN**, 2ª Edição, 2008. 179p.

MATEO-GARCIA, G., VEITCH-MICHAELIS, J., SMITH, L., OPREA, S. V., SCHUMANN, G., GAL, Y., BAYDIN, A. G., BACKES, D. (2021). Towards global flood mapping onboard low-cost satellites with machine learning. *Scientific reports*, 11(1), 7249. DOI: 10.1038/s41598-021-86650-z

MCCABE, M. F., RODELL, M., ALSDORF, D. E., MIRALLES, D. G., UIJLENHOET, R., WAGNER, W., LUCIEER, A., HOUBORG, R., VERHOEST, N. E. C., FRANZ, T. E., SHI, J. GAO, H., WOOD, E. F. (2017). The future of Earth observation in hydrology. *Hydrology and earth system sciences*, 21(7), 3879-3914. DOI: 10.5194/hess-21-3879-2017

MCLACHLAN, P. J., CHAMBERS, J., UHLEMANN, S., BINLEY, A. Geophysical characterisation of the groundwater–surface water interface. *Advances in Water Resources*, v. 109, p. 302-319, 2017. DOI: 10.1016/j.advwatres.2017.09.016

MEDEIROS, F. A. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em agricultura de precisão**. 2007. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MENDONÇA, F., DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206p.

MENESES, P. R.; SANO, E. E. Classificação pixel a pixel de imagens *In*: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB, 2012, 266p.

MITSCH, W. J.; GOSSELINK, J. G. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. *Ecological economics*, v. 35, n. 1, p. 25-33, 2000. DOI: 10.1016/S0921-8009(00)00165-8

MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS**: descrição, fundamentos e aplicações. São Paulo: Editora UNESP, p 287, 2000.

MWANIKI, M. W., MATTHIAS, M. S., & SCHELLMANN, G. (2015). Application of remote sensing technologies to map the structural geology of central Region of Kenya. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(4), 1855-1867. New York: Walter de Gruyter, 2003. 589p. DOI: 10.1109/JSTARS.2015.2395094

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto**: Princípios e Aplicações. Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo. 1998

NOVO, E. M. L. M., PONZONI, F. J. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Divisão de Processamento de Imagens (DPI)/INPE, São José dos Campos, 2001.

OLIVEIRA, B. S., **Satélites e Sensores**. Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR)/INPE, São José dos Campos, 2017.

OLIVEIRA, H. C. **Interseção fotogramétrica**. Notas de aula da disciplina de Geomática. Departamento de Infraestrutura e Ambiente. FECFAU, UNICAMP, 2020.

OMETTO, J.C. **Registros e estimativas dos parâmetros meteorológicos da região de Piracicaba, SP**. Piracicaba: FEALQ, 1989. 76p.

OZESMI, S. L., & BAUER, M. E. (2002). Satellite remote sensing of wetlands. *Wetlands ecology and management*, 10(5): 381-402. DOI: 10.1023/A:1020908432489

PAPASTERGIADOU, E. S., RETALIS, A., APOSTOLAKIS, A. N., GEORGIADIS, T. Environmental monitoring of spatio-temporal changes using remote sensing and GIS in a Mediterranean wetland of Northern Greece. *Water Resources Management*, v. 22, p. 579-594, 2008. DOI: 10.1007/s11269-007-9179-7

PEREIRA, P.; CERDÀ, A.; JORDÁN, A.; ZAVALA, L.; MATAIX-SOLERA, J.; ARCENEGUI, V.; MISIUNE, I.; KEESSTRA, S.; NOVARA, A. Vegetation recovery after a grassland fire in Lithuania. The effects of fire severity, slope position and aspect. *Land Degradation & Development*. 2016, 27, 1523–1534. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.2498>

PERINOTTO, J. A. J.; ZAINÉ, M. F. Patrimônios naturais e história geológica da região de Rio Claro-SP. **Rev. Arq. Púb. Hist. Município de Rio Claro**, v. 1, 2008.

PIRACICABA. Prefeitura Municipal de Piracicaba. **Plano diretor de Piracicaba. Lei de uso e ocupação do solo: estudos básicos**. Piracicaba: Prefeitura de Piracicaba, 2020.

PUPINS, M., NEKRASOVA, O., TYTAR, V., GARKAJS, A., PETROV, I., MOROZOVA, A., THEISSINGER, K., ČEIRĀNS, A., SKUTE, A., GEORGES, J.-Y. **Geographically Isolated Wetlands as a Reserve for the Conservation of Amphibian Biodiversity at the Edge of Their Range**. *Diversity*. 2023; 15(3):461. DOI: 10.3390/d15030461

RAINS, M., LEIBOWITZ, S. G., COHEN, M. J., CREED, I. F., GOLDEN, H. E., JAWITZ, J. W., ... & MCLAUGHLIN, D. L. (2016). **Geographically isolated wetlands are part of the hydrological landscape**.

RANZANI, G. **Subsídios à geografia de Piracicaba**. Piracicaba: Instituto Histórico e Geográfico de Piracicaba/IHGP, 1976.

REDWEIK, P. **Fotogrametria aérea**. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa. Pág, v. 3, 2007.

ROSA, F. T. G. **Análise geofísica e hidrogeológica de área úmida na depressão periférica paulista (município de Araras-SP)**. Tese de doutorado, IGCE, Unesp, 2022.

ROSOLEN, V.; DE OLIVEIRA, D. A.; BUENO, G. T. Vereda and Murundu wetlands and changes in Brazilian environmental laws: challenges to conservation. *Wetl. Ecol. Manag.*, v. 23(2), p. 285–292, 2015. DOI: 10.1007/s11273-014-9380-4

RUDORFF, B. F. T. **Produtos de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE**, 2011. Disponível em: <http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm#bernardo>. Acesso em 10 set. 2022.

RUFINO, I. A. A., PAIVA, A. E. D. B., BATISTA, M. E. M., & BANDEIRA, M. M. **Atualização da hidrografia do estado da paraíba utilizando processamento digital de imagens e geoprocessamento**. XIV Simpósio Brasileiro de

Recursos Hídricos e V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa. Aracaju/SE, 2001.

SALOMÃO, P. E. A.; HIRLE, R. E. W. Study of the influence of burning on chemical properties and seed bank of Mucuri Valley. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 8, n. 12, p. e358121799, 2019. DOI: 10.33448/rsd-v8i12.1799. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/1799>. Acesso em: 29 mai. 2024.

SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; FOLEGATTI, M. V.; ORELLANA-GONZÁLEZ, A. M. G. **Situação dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá utilizando modelo desenvolvido em dinâmica de sistemas**. Engenharia Agrícola, v. 29(4), p. 578-590, 2009. DOI: 10.1590/S0100-69162009000400008

SAURO, U. Closed depressions in karst areas. *In: Encyclopedia of caves*. Academic Press, 2019. p. 285-300. DOI: 10.1016/B978-0-12-383832-2.00133-X

SCHNEIDER, R. L., MUHLMANN, H., TOMMASI, E., MEDEIROS, R.A., DAEMON, R.F. e NOGUEIRA, A. **Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná**. *In Congresso Brasileiro de Geologia*, 28, Porto Alegre, 1974. SBG, 1:41-65.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods and Applications**. Berlin, 2003.

SEGANTINE, P. C. L. GPS – **Sistema de Posicionamento Global**. Apostila didática da Universidade de São Paulo Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Transportes. p 181, 1999.

SERPICO, S. B., DELLEPIANE, S., BONI, G., MOSER, G., ANGIATI, E., & RUDARI, R. (2012). Information extraction from remote sensing images for flood monitoring and damage evaluation. **Proceedings of the IEEE**, 100(10): 2946-2970. DOI: 10.1109/JPROC.2012.2198030

SILVA, C.A., DUARTE, C.R., SOUTO, M.V.S., DOS SANTOS, A.L.S., AMARO, V.E., BICHO, C.P., SABADIA, J.A.B., **AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DO CÁLCULO DE VOLUME DE PILHAS DE REJEITO UTILIZANDO VANT, GNSS E LiDAR**, **Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos**, ISSN 1982-2170, Curitiba, v. 22, no1, p.73 - 94, jan-mar, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702016000100005>

SILVA, D. C. **Evolução da Fotogrametria no Brasil**. Recife: UFPE. Artigo RBGeo, 2015.

SIMÕES, M. G., FITTIPALDI, F. C. **Fósseis da região de Rio Claro, SP.** Arquivo do Município, Rio Claro, 1992, 77p.

SOARES, P. C. et al. Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. **Rev. Bras. Geociências**, v. 10, n. 3, 1980.

STEPHENS, G. L., SLINGO, J. M., RIGNOT, E., REAGER, J. T., HAKUBA, M. Z., DURACK, P. J., WORDEN, J., ROCCA, R. Earth's water reservoirs in a changing climate. **Proceedings of the Royal Society A**, v. 476, n. 2236, p. 20190458, 2020. DOI: 10.1098/rspa.2019.0458

TINER, R. W. **Wetland Definitions and Classifications in the United States**, USGS 1994. Disponível em: <https://water.usgs.gov/nwsum/WSP2425/definitions.html>. Acesso em 19 abr. 2024.

TINER, R. W.; BURKE, D. G. **Wetlands of Maryland**. 1995.

TINER, R.W. Geographically isolated wetlands of the United States. **Wetlands** 23, 494–516 (2003). DOI: 10.1672/0277-5212(2003)023[0494:GIWOTU]2.0.CO;2

TOTH, C., & JÓZKÓW, G. (2016). Remote sensing platforms and sensors: A survey. ISPRS **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 115, 22-36.

TUNDISI, J. G. **Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções**. Estudos avançados, v. 22, p. 7-16, 2008. DOI: 10.1590/S0103-40142008000200002

VAN DER KAMP, G.; HAYASHI, M. Groundwater-Wetland ecosystem interaction in the semiarid glaciated plains of North America. **Hydrogeology Journal**, v. 17, n. 1, p. 203, 2009. DOI: 10.1007/s10040-008-0367-1

VAN KAICK, O. M. e PEDRINI, H. **Estudo Comparativo de Métodos de Compressão de Modelos de Terrenos Digitais através de Superfícies Triangulares**. *Proceedings of III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas*, Curitiba-PR, Brasil, 2003, p.1-15.

VANWALLEGHEM, T., POESEN, J., McBRATNEY, A., DECKERS, J. Spatial variability of soil horizon depth in natural loess-derived soils. **Geoderma**, v. 157, n. 1-2, p. 37-45, 2010.

VEIGA, L. A. K. **Topografia: Cálculo de Volumes**. Notas de aula, UFPR, 2007.

VEPRASKAS, M. J.; RICHARDSON, J. L.; TANDARICH, J. P. Dynamics of redoximorphic feature formation under controlled ponding in a created riverine wetland. **Wetlands**, v. 26, n. 2, p. 486-496, 2006. DOI: 10.1672/0277-5212(2006)26[486:DORFFU]2.0.CO;2

WALTER, B., SCHAEFFER, G., TUTIKIAN, B. F., PACHECO, F., CHRIST, R. **Uso do VANT para identificação das manifestações patológicas de fachadas: estudo de caso em edificações**. In: Congreso Latino-Americano de Patología de Construcción de Control de Calidad En La Construcción, 17., Chiapas, 2019. Anais [...] Chiapas, 2019. DOI: 10.21041/CONPAT2019/V2PAT302

WANG, W., YANG, N., ZHANG, Y., WANG, F., CAO, T., & EKLUND, P. (2016). A review of road extraction from remote sensing images. **Journal of traffic and transportation engineering** (english edition), 3(3), 271-282. DOI: 10.1016/j.jtte.2016.05.005

WANG, C., YANG, X., XI, X., NIE, S. & DONG, P. **Introduction to LiDAR Remote Sensing**, 1st Edition, CRC Press, ISBN 9781032671505, 259p., 2024.

WHIGHAM, D.F., JORDAN, T.E. Isolated wetlands and water quality. **Wetlands** 23, 541–549 (2003). DOI: 10.1672/0277-5212(2003)023[0541:IWAWQ]2.0.CO;2

WHITEHEAD, K.; MOORMAN, B. J.; HUGENHOLTZ, C. H. **Brief Communication: Low-cost, on-demand aerial photogrammetry for glaciological measurement**. The Cryosphere, v. 7, n. 6, p. 1879, 2013.

WINTER, Thomas C.; LABAUGH, James W. Hydrologic considerations in defining isolated wetlands. **Wetlands**, v. 23, n. 3, p. 532-540, 2003. DOI: 10.1672/0277-5212(2003)023[0532:HCIDIW]2.0.CO;2

WOLF, P. R.; DEWITT, B. A. **Elements of Photogrammetry with applications in GIS**. 3<sup>a</sup> edition. USA: McGraw-Hill, 2000. 608p.

ZAINE, J. E. **Geologia da Formação Rio Claro na folha Rio Claro (SP)**. 1995.

ZHU, L., SUOMALAINEN, J., LIU, J., HYYPPÄ, J., KAARTINEN, H., & HAGGREN, H. (2018). A review: Remote sensing sensors. ***Multi-purposeful application of geospatial data***, 19-42. DOI: 10.5772/intechopen.71049

ZISCHINSKY, T.; DORFFNER, L.; ROTTENSTEINER, F. Application of a new model helicopter system in architectural photogrammetry. ***International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing***, v. 33, n. B5/2; PART 5, p. 959-959, 2000.

## ANEXO 1 – solicitação SARPAS ago/22

Solicitação de voo via SARPAS NG para operação em agosto de 2022.

**Protocolo**  
D0F02040



**Status**  
Análise Automática - Aprovado

**Altura**  
100 m

**Data Solicitação**  
22/08/2022, 11:58:42

**Área**  
[Ver área solicitada](#)

**Download**  
[KML](#)

**Perfil da operação**  
[Padrão \(ICA 100-40\)](#)

**Tipo de voo**  
VLOS

---

**Data da Operação**  
25/08/2022  
**Horário da Operação**  
10:00:00 às 20:00:00

### COMUNICAÇÃO

**Nome da Operação**  
Lev. Tanquinho

**SISANT**  
PP-199011008

Papel	Nome	Código
Responsável	FELIPE QUEIROZ MIANO	
Solicitante	FELIPE QUEIROZ MIANO	
Piloto	FELIPE QUEIROZ MIANO	

Fonte: Próprio autor.

## ANEXO 2 – solicitação SARPAS set/22

Solicitação de voo via SARPAS NG para operação em setembro de 2022.

**Protocolo**  
431F5BD8



**Status**  
Análise Automática - Aprovado

**Altura**  
100 m

**Data Solicitação**  
12/09/2022, 12:06:12

**Área**  
[Ver área solicitada](#)

**Download**  
[KML](#)

**Perfil da operação**  
[Padrão \(ICA 100-40\)](#)

**Tipo de voo**  
VLOS

---

**Data da Operação**  
13/09/2022  
**Horário da Operação**  
08:00:00 às 15:00:00

---

### COMUNICAÇÃO

**Nome da Operação**  
Map 1

---

**SISANT**  
PP-199011008

---

Papel	Nome	Código
Responsável	FELIPE QUEIROZ MIANO	
Solicitante	FELIPE QUEIROZ MIANO	
Piloto	FELIPE QUEIROZ MIANO	

Fonte: Próprio autor.

## ANEXO 3 – solicitação SARPAS out/22

Solicitação de voo via SARPAS NG para operação em outubro de 2022.

**Protocolo**  
F013E2B7



**Status**  
Análise Automática - Aprovado

**Altura**  
100 m

**Data Solicitação**  
13/10/2022, 08:22:32

**Área**  
[Ver área solicitada](#)

**Download**  
[KML](#)

**Perfil da operação**  
[Padrão \(ICA 100-4Q\)](#)

**Tipo de voo**  
VLOS

---

**Data da Operação**  
14/10/2022

**Horário da Operação**  
09:00:00 às 13:00:00

---

### COMUNICAÇÃO

**Nome da Operação**  
Master 3

**SISANT**  
PP-199011008

---

Papel	Nome
Responsável	FELIPE QUEIROZ MIANO
Solicitante	FELIPE QUEIROZ MIANO
Piloto	FELIPE QUEIROZ MIANO

XJRU

Fonte: Próprio autor.

## ANEXO 4 – solicitação SARPAS nov/22

Solicitação de voo via SARPAS NG para operação em novembro de 2022.

### Protocolo

FA1A4761



### Status

Análise Automática - Aprovado

### Altura

90 m

### Data Solicitação

15/11/2022, 19:31:49

### Área

[Ver área solicitada](#)

### Download

[KML](#)

### Perfil da operação

[Padrão \(ICA 100-40\).](#)

### Tipo de voo

VLOS

### Data da Operação

16/11/2022

### Horário da Operação

10:00:00 às 14:00:00

## COMUNICAÇÃO

### Nome da Operação

Master 4

### SISANT

PP-199011008

Papel	Nome	Código
Responsável	FELIPE QUEIROZ MIANO	
Solicitante	FELIPE QUEIROZ MIANO	
Piloto	FELIPE QUEIROZ MIANO	

Fonte: Próprio autor.

## ANEXO 5 – solicitação SARPAS dez/22

Solicitação de voo via SARPAS NG para operação em dezembro de 2022.

**Protocolo**  
11404ED6



### Status

Análise Automática - Aprovado

### Altura

100 m

### Data Solicitação

14/12/2022, 11:11:49

### Área

[Ver área solicitada](#)

### Download

[KML](#)

### Perfil da operação

[Padrão \(ICA 100-40\)](#)

### Tipo de voo

VLOS

---

### Data da Operação

15/12/2022

### Horário da Operação

08:00:00 às 11:00:00

---

## COMUNICAÇÃO

### Nome da Operação

Master 5

### SISANT

PP-199011008

---

Papel	Nome	Código
Responsável	FELIPE QUEIROZ MIANO	
Solicitante	FELIPE QUEIROZ MIANO	
Piloto	FELIPE QUEIROZ MIANO	

Fonte: Próprio autor.

## ANEXO 6 – solicitação SARPAS jan/23

Solicitação de voo via SARPAS NG para operação em janeiro de 2023.

**Protocolo**  
374B0C28



**Status**  
Análise Automática - Aprovado

**Altura**  
100 m

**Data Solicitação**  
09/01/2023, 11:11:47

**Área**  
[Ver área solicitada](#)

**Download**  
[KML](#)

**Perfil da operação**  
[Padrão \(ICA 100-40\)](#)

**Tipo de voo**  
VLOS

---

**Data da Operação**  
10/01/2023 até 14/01/2023

**Horário da Operação**  
09:00:00 às 15:00:00

---

### COMUNICAÇÃO

**Nome da Operação**  
Master 6

**SISANT**  
PP-199011008

---

Papel	Nome	Código
Responsável	FELIPE QUEIROZ MIANO	
Solicitante	FELIPE QUEIROZ MIANO	
Piloto	FELIPE QUEIROZ MIANO	

Fonte: Próprio autor.

## ANEXO 7 – solicitação SARPAS fev/23

Solicitação de voo via SARPAS NG para operação em fevereiro de 2023.

**Protocolo**  
95748768



**Status**  
Análise Automática - Aprovado

**Altura**

100 m

**Data Solicitação**

14/02/2023, 09:20:02

**Área**

[Ver área solicitada](#)

**Download**

[KML](#)

**Perfil da operação**

[Padrão \(ICA 100-40\)](#)

**Tipo de voo**

VLOS

---

**Data da Operação**

14/02/2023 até 17/02/2023

**Horário da Operação**

11:00:00 às 15:00:00

---

### COMUNICAÇÃO

---

**Nome da Operação**

Master fev.

---

**SISANT**

PP-199011008

---

Papel	Nome	Código
Responsável	FELIPE QUEIROZ MIANO	
Solicitante	FELIPE QUEIROZ MIANO	
Piloto	FELIPE QUEIROZ MIANO	

Fonte: Próprio autor.

## ANEXO 8 – solicitação SARPAS mar/23

Solicitação de voo via SARPAS NG para operação em março de 2023.

**Protocolo**  
5AE84986



**Status**  
Análise Automática - Aprovado

**Altura**  
100 m

**Data Solicitação**  
15/03/2023, 11:21:40

**Área**  
[Ver área solicitada](#)

**Download**  
[KML](#)

**Perfil da operação**  
[Padrão \(ICA 100-40\)](#)

**Tipo de voo**  
VLOS

---

**Data da Operação**  
16/03/2023 até 19/03/2023

**Horário da Operação**  
09:00:00 às 15:00:00

---

### COMUNICAÇÃO

**Nome da Operação**  
Master 8

**SISANT**  
PP-199011008

---

Papel	Nome	Código
Responsável	FELIPE QUEIROZ MIANO -	
Solicitante	FELIPE QUEIROZ MIANO -	
Piloto	FELIPE QUEIROZ MIANO	

Fonte: Próprio autor.

## ANEXO 9 – solicitação SARPAS abr/23

Solicitação de voo via SARPAS NG para operação em abril de 2023.

**Protocolo**  
2628E318



**Status**  
Análise Automática - Aprovado

**Altura**  
100 m

**Data Solicitação**  
13/04/2023, 10:00:40

**Área**  
[Ver área solicitada](#)

**Download**  
[KML](#)

**Perfil da operação**  
[Padrão \(ICA 100-40\)](#)

**Tipo de voo**  
VLOS

---

**Data da Operação**  
14/04/2023 até 16/04/2023

**Horário da Operação**  
09:00:00 às 15:00:00

---

### COMUNICAÇÃO

**Nome da Operação**  
Master Abril

**SISANT**  
PP-199011008

---

Papel	Nome	Código
Responsável	FELIPE QUEIROZ MIANO -	
Solicitante	FELIPE QUEIROZ MIANO -	
Piloto	FELIPE QUEIROZ MIANO	

Fonte: Próprio autor.

## ANEXO 10 – solicitação SARPAS mai/23

Solicitação de voo via SARPAS NG para operação em maio de 2023.

**Protocolo**  
0B9F6D23



**Status**  
Análise Automática - Aprovado

**Altura**  
100 m

**Data Solicitação**  
17/05/2023, 10:25:11

**Área**  
[Ver área solicitada](#)

**Download**  
[KML](#)

**Perfil da operação**  
[Padrão \(ICA 100-40\)](#)

**Tipo de voo**  
VLOS

---

**Data da Operação**  
19/05/2023 até 21/05/2023

**Horário da Operação**  
09:00:00 às 15:00:00

---

### COMUNICAÇÃO

**Nome da Operação**  
Master MAI23

**SISANT**  
PP-199011008

---

Papel	Nome	Código
Responsável	FELIPE QUEIROZ MIANO -	
Solicitante	FELIPE QUEIROZ MIANO -	
Piloto	FELIPE QUEIROZ MIANO	

Fonte: Próprio autor.

## ANEXO 11 – solicitação SARPAS jun/23

Solicitação de voo via SARPAS NG para operação em junho de 2023.

**Protocolo**  
4F0DE5A0



**Status**  
Análise Automática - Aprovado

**Altura**  
100 m

**Data Solicitação**  
14/06/2023, 20:11:11

**Área**  
[Ver área solicitada](#)

**Download**  
[KML](#)

**Perfil da operação**  
[Padrão \(ICA 100-40\)](#)

**Tipo de voo**  
VLOS

**Data da Operação**  
15/06/2023 até 17/06/2023

**Horário da Operação**  
09:00:00 às 17:00:00

### COMUNICAÇÃO

**Nome da Operação**  
Master Jun23

**SISANT**  
PP-199011008

Papel	Nome	Código
Responsável	FELIPE QUEIROZ MIANO	
Solicitante	FELIPE QUEIROZ MIANO	
Piloto	FELIPE QUEIROZ MIANO	

Fonte: Próprio autor.

## ANEXO 12 – solicitação SARPAS jul/23

Solicitação de voo via SARPAS NG para operação em julho de 2023.

**Protocolo**  
2F806ECC



**Status**  
Análise Automática - Aprovado

**Altura**  
100 m

**Data Solicitação**  
14/07/2023, 17:47:13

**Área**  
[Ver área solicitada](#)

**Download**  
[KML](#)

**Perfil da operação**  
[Padrão \(Nova ICA\)](#)

**Tipo de voo**  
VLOS

---

**Data da Operação**  
15/07/2023 até 19/07/2023

**Horário da Operação**  
09:00:00 às 16:00:00

---

### COMUNICAÇÃO

**Nome da Operação**  
Master Jul 2023

**SISANT**  
PP-199011008

Papel	Nome	Código
Responsável	FELIPE QUEIROZ MIANO	
Solicitante	FELIPE QUEIROZ MIANO	
Piloto	FELIPE QUEIROZ MIANO	

Fonte: Próprio autor.

## ANEXO 13 – solicitação SARPAS ago/23

Solicitação de voo via SARPAS NG para operação em agosto de 2023.

**Protocolo**  
6ABEC754



**Status**  
Análise Automática - Aprovado

**Altura**  
100 m

**Data Solicitação**  
02/08/2023, 14:44:02

**Área**  
[Ver área solicitada](#)

**Download**  
[KML](#)

**Perfil da operação**  
[Padrão \(Nova ICA\)](#)

**Tipo de voo**  
VLOS

**Data da Operação**  
14/08/2023 até 18/08/2023

**Horário da Operação**  
09:00:00 às 17:00:00

### COMUNICAÇÃO

**Nome da Operação**  
Master Ago23

**SISANT**  
PP-199011008

Papel	Nome	Código
Responsável	FELIPE QUEIROZ MIANO	
Solicitante	FELIPE QUEIROZ MIANO	
Piloto	FELIPE QUEIROZ MIANO	

Fonte: Próprio autor.