



**IGOR CARVALHO DE ANDRADE**

**PLATAFORMA DE REALIDADE VIRTUAL AÉREA  
APLICADA NO MONITORAMENTO DE CULTURAS**

**LAVRAS – MG  
2021**

**IGOR CARVALHO DE ANDRADE**

**PLATAFORMA DE REALIDADE VIRTUAL AÉREA APLICADA NO  
MONITORAMENTO DE CULTURAS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. FELIPE SCHWERZ  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2021**

**IGOR CARVALHO DE ANDRADE**

**PLATAFORMA DE REALIDADE VIRTUAL AÉREA APLICADA NO MONITORAMENTO  
DE CULTURAS**

**AERIAL VIRTUAL REALITY PLATFORM APPLIED IN CULTURE MONITORING**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 19 / 11 / 2021

Dr. FELIPE SCHWERZ, UFLA  
Dr. DIEGO BEDIN MARIN, UFLA  
Me. LUCAS SANTOS SANTANA, UFLA

Prof. Dr. FELIPE SCHWERZ  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2021**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo dom da vida e por abençoar o fechamento de mais um ciclo.

A minha família Janot, Phelipe, Romene e Irany, por sempre apoiarem, presenciarem e incentivarem a conquista de meus planos e sonhos.

Ao time do grupo Schmidt Agrícola, Angélica Guimarães, Cristian Fernandes, Douglas Venâncio, Fernando Andrade, Igor Alves, João Henrique, José Inocêncio, Lucas Barbosa, Lucas Tony, Luiz Filipe Amaral, Manuelle Galvão, Maurício Meazza, Paulo Schmidt, Wellington Luiz, que foram a base para a idealização e realização do projeto, além disso, por todo ensinamento e trocas de experiências.

Ao meu orientador Felipe Schwerz, pela amizade, apoio, incentivo, ensinamentos e experiências durante a minha graduação e desenvolvimento do estudo.

Aos integrantes, colaboradores, professores do Departamento de Engenharia Agrícola – DEA da Universidade Federal de Lavras - UFLA, pela parceria, troca de conhecimentos, experiências e apoio, durante o período da graduação.

A Universidade Federal de Lavras – UFLA que está me proporcionando a conquista de uma carreira profissional de excelência.

Fica aqui os meus sinceros agradecimentos, muito obrigado!

“A imaginação é mais importante que o conhecimento. O conhecimento é limitado. A imaginação envolve o mundo.” (Albert Einstein)

## RESUMO

O aumento dos custos de produção e a busca da sustentabilidade no meio agrícola exigem melhorias na eficiência de produção e de tomadas de decisões, consequentemente a procura por inovações de ferramentas digitais de baixo custo tem aumentado nos últimos anos. Logo esse estudo teve como objetivo principal, desenvolver um aplicativo de realidade virtual, com dados de imagens 360° de Aeronave Remotamente Pilotada - ARP, índice de vegetação NDVI de imagens de satélites e RGB de imagens de ARP, interpolação de dados pluviométricos e de solo, para auxiliar nas tomadas de decisões temporais e espaciais de forma eficiente em lavouras de grãos e fibra. O estudo foi realizado na fazenda Orquídeas do grupo Schmidt Agrícola, localizado no município de Barreiras no oeste baiano. Foi utilizado na pesquisa duas Aeronaves Remotamente Pilotadas – ARP's da marca DJI, para posterior comparação de resolução de imagem 360°. Além disso, foi comparado as análises de quantificação e qualificação de pragas, doenças, ervas daninhas, stand de plantas das culturas de feijão e algodão, a comparação foi feita entre a análise visual in loco e a análise visual das imagens 360°. Realizou-se o estudo da utilização dos índices RGB, MPRI e VARI apartir de ortomosaico gerado pelo ARP e o uso do produto do Sentinel-2 para geração do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada – NDVI. O estudo realizou também a melhor angulação e as influencias atmosféricas de coleta de imagens 360° do ARP. Foi utilizado para o processamento das imagens o software original do ARP, DJI GO 4, o Pix4D capture e o QGIS 3.4.14. Ainda o estudo a metodologias de interpolação de dados espaciais, IDW, para os dados de monitoramento agrícola in loco e das imagens 360°. Não houve diferença considerável no uso dos ARP's, definiu-se usar o ARP de menor custo. O monitoramento de stand de plantas e de população de ervas daninhas foram os únicos fatores que obteve resultado expressivo, por serem detectados facilmente pela superfície aérea. Desenvolveu-se a coleta de dados in situ pela plataforma do Google Forms e a construção da plataforma que uni os dados georeferenciados em um acesso em HTML, que pode ser utilizada em servidores físicos ou virtual, dependendo da necessidade do usuário, sendo utilizada em servidor virtual o usuário pode realizar o acesso pelo smartphone. A plataforma de realidade virtual de monitoramento agrícola desenvolvida, mostra ser uma ferramenta de alto pontencial na agricultura de precisão, auxiliando na rastreabilidade de produção, no monitoramento espacial e temporal das lavouras, além de auxiliando nas tomadas de decisões.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão. Sensoriamento Remoto. Agricultura Digital. Feijoeiro. Algodoeiro.

## ABSTRACT

The increase in production costs and the search for sustainability in the agricultural environment demand improvements in the efficiency of production and decision-making, consequently the demand for low-cost digital tool innovations has increased in recent years. Therefore, this study had as its main objective, to develop a virtual reality application, with data from 360° images from Remotely Piloted Aircraft - ARP, NDVI vegetation index from satellite images and RGB from ARP images, interpolation of rainfall and soil data, to assist in making efficient temporal and spatial decisions in grain and fiber crops. The study was carried out at the Orquídeas farm of the Schmidt Agrícola group, located in the municipality of Barreiras in western Bahia. Two Remotely Piloted Aircraft – ARP of the DJI brand were used in the research, for later comparison of 360° image resolution. In addition, the quantification and qualification analyzes of pests, diseases, weeds, bean and cotton plant stand were compared, the comparison was made between the visual analysis in loco and the visual analysis of 360° images. The study of the use of the RGB, MPRI and VARI indices from the orthomosaic generated by the ARP and the use of the Sentinel-2 product to generate the Normalized Difference Vegetation Index – NDVI was carried out. The study also performed the best angulation and atmospheric influences of 360° image collection of the ARP. The original ARP software, DJI GO 4, Pix4D capture and QGIS 3.4.14 were used for image processing. Also the study of spatial data interpolation methodologies, IDW, for agricultural monitoring data in loco and 360° images. There was no considerable difference in the use of ARP's, it was decided to use the lowest cost ARP. The monitoring of plant stand and weed population were the only factors that obtained an expressive result, as they are easily detected by the aerial surface. Data collection was carried out in situ by the Google Forms platform and the construction of the platform that unites the georeferenced data in an HTML access, which can be used on physical or virtual servers, depending on the user's need, being used on a server Virtual the user can access the smartphone. The developed agricultural monitoring virtual reality platform proves to be a high-potential tool in precision agriculture, aiding in production traceability, spatial and temporal monitoring of crops, in addition to aiding in decision-making.

**Keywords:** Precision agriculture. Remote sensing. Digital Agriculture. Bean plant. Cotton.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da área experimental OR9 (A) e OR2 (B) .....	21
Figura 2 – Mapa dos lotes da fazenda Orquídeas, Safra 20/21, caracterizando as áreas de algodão e feijão .....	22
Figura 3 – Gráfico com valores médios mensais e acumulado safra 20/21 de chuva da fazenda Orquídeas .....	22
Figura 4 – Ilustração GPS Garmin Etrex 10 .....	23
Figura 5 – Tela do aplicativo DJI GO 4 no modo “PHOTO SPHERE” .....	25
Figura 6 – Malha amostral das interpolações dos dados de solo com profundidade 0-20 cm, pelo método IDW .....	28
Figura 7 – Resultados da altura de voo para captura das 34 fotos, Cultura do Feijão (A) e Cultura do algodão (B).....	29
Figura 8 – Efeitos atmosféricos nas fotos esféricas, efeito fantasmas, saturação e sombra na cultura do feijão.....	30
Figura 9 – Pragas e doenças identificadas a partir das imagens 360° .....	33
Figura 10 – Estande de plantas e ervas daninhas identificadas a partir das imagens 360° .....	34
Figura 11 – Mapas de índice vegetação. (A) Índice de vegetação VARI, (B) Índice de vegetação MPRI .....	35
Figura 12 – Mapas de interpolações IDW das imagens 360° e dados in loco .....	37
Figura 13 – Mapas de interpolações pelo método IDW para dados de micronutrientes de amostragem de solo na camada 0-20 cm, de jun/2021 .....	38
Figura 14 – Mapas de interpolações pelo método IDW para dados de micronutrientes e saturação por bases de amostragem de solo na camada 0-20 cm, de jun/2021 .....	39
Figura 15 – Mapas de interpolações pelo método IDW para dados ph CaCl <sub>2</sub> de amostragem de solo na camada 0-20 cm, de jun/2021 e pluviometria acumulada da safra 20/21.....	40
Figura 16 – Layout da plataforma desenvolvida.....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Duração média e cumulativa em dias, graus-dia e altura média das plantas por estágio fenológico no desenvolvimento de feijão-caupi, variedade BR 17 – Gurguéia .....	14
Tabela 2 – Dados de produção brasileira de algodão em caroço em mil toneladas, divulgados pela ABRAPA .....	15
Tabela 3 – Especificações de ARP's utilizado na experimentação.....	23
Tabela 4 – Alturas e quantidades de pontos amostrais por área experimental e estágio fenológico.....	24
Tabela 5 – Dias e horários das avaliações por área experimental e pontos.....	26
Tabela 6 – Metodologia de avaliações in loco .....	26
Tabela 7 – Condições atmosférica para execução do plano de voo de captura de imagens 360° .....	30
Tabela 8 – Resultados das avaliações de estande de plantas e população de ervas daninhas ...	31
Tabela 9 – Resultados das avaliações de pragas e doenças.....	32
Tabela 10 – Dados de produtividade da fazenda Orquídeas, safra 20/21, das culturas do Feijão e Algodão .....	41

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
2.1 Feijoeiro.....	13
2.2 Algodoeiro .....	14
2.3 Monitoramento fitossanitário de culturas .....	16
2.4 Geotecnologias .....	17
2.5 Aeronave Remotamente Pilotada – ARP X Satélite artificial.....	18
2.6 Realidade Virtual - RV .....	18
2.7 Interpolação espacial de dados .....	19
2.8 Agricultura de Precisão - AP.....	20
2.9 Plataformas de monitoramento.....	20
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>20</b>
3.1 Área de estudo e especificações .....	20
3.2 Equipamentos utilizados.....	23
3.3 Captura e processamento das imagens.....	24
3.4 Avaliações in loco.....	25
3.5 Avaliações das imagens 360° .....	27
3.6 Interpolações espaciais dos dados.....	27
3.7 Índices de vegetação .....	28
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>29</b>
4.1 Monitoramento por imagens 360° .....	29
4.2 Monitoramento por Mapas 2D.....	34
4.3 Interpolação espacial dos dados.....	36
4.4 Produtividade.....	41
4.5 Plataforma de monitoramento de agrícola .....	42
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>44</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>45</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é uma potência agrícola, com o maior saldo exportador de produtos agrícolas do mundo. O setor agrícola no Estado é o principal responsável do saldo positivo da balança comercial. Além disso, o País possui um clima tropical, diferentemente de outras potências mundiais agrícolas, como consequência o Brasil foi obrigado a criar tecnologias adequadas as condições específicas.

O oeste bahiano se encontra na região conhecida como MATOPIBA, região compreendida pelo bioma do Cerrado do estado do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, responsável por grande parte da produção agrícola de grãos e fibra do Brasil. Além disso, a Bahia se destaca pela topografia favorável para mecanização, facilitando a produção agrícola em grande escala.

O aumento nos custos de produção e a demanda pela sustentabilidade agrícola aliada pela busca por aumento na produtividade exigem melhorias na eficiência no uso dos recursos e acurácia nas tomadas de decisões. O que os desenvolvimentos tecnológicos estão conseguindo entregar ferramentas relevantes à produção agrícola brasileira.

A Agricultura de Precisão (AP), conceito que nas ultimas décadas tem-se tornado intensamente presente na agricultura brasileira, consiste em uma técnica de manejo que avalia a variabilidade espacial e temporal, permitindo assim, um manejo e gestão de produção mais assertiva, sustentável e racional. A AP é um sistema que depende demasiadamente de dados de informações da lavoura georeferenciadas, como dados de plantas, solo, clima, máquinas, produção, entre outras informações relevantes. Essas informações fornece uma base estrutural e conceitual que conecta sistemas de produção agrícola a agricultura digital.

Os principais desafios da agricultura de precisão estão relacionados à dificuldade de encontrar ferramentas tecnológicas que auxiliam no entendimento dos fatores causadores da variabilidade espacial e temporal na agricultura aliado ao alto custo de implementação de metodologias presentes no meio agrícola.

A Realidade Virtual (RV) é uma tecnologia de baixo custo que tem um grande potencial em agregar valor no setor agrícola. A tecnologia permite o acesso a ambientes sintéticos, imersivos e de alta definição, no qual imersa experiências físicas em um ambiente virtual.

Além disso, as tecnologias que utilizam técnicas de uso Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP's) estão ganhando um grande espaço na AP, onde a ferramenta consegue entregar resultados relevantes e acurados que agregam valor na produção agrícola a um baixo

custo de implantação. Na última década, houve um crescimento expressivo do número de tecnologias que envolve técnicas de uso de ARP's na agricultura brasileira.

O constante aumento da produção agrícola do país e a procura de aumentar a produção sem aumentar a área estão fazendo com que os gestores necessitem mais de plataformas que monitoram a produção, aliando as definições de agricultura digital e de precisão.

Dessa forma, desenvolver e inovar em tecnologias para a agricultura de precisão se torna um tema relevante para a contribuição no desenvolvimento agrícola do Brasil, auxiliando na manutenção e crescimento no mercado competitivo mundial. Torna-se então pertinente o desenvolvimento de uma tecnologia de baixo custo e de alto nível de informações para a produção agrícola.

Neste sentido, este trabalho teve como objetivo aplicar técnicas de sensoriamento remoto com Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP), produtos de satélites, realidade virtual e geoprocessamento, para o desenvolvimento de plataforma de monitoramento da produção agrícola. Isso tudo para integrar o monitoramento de culturas, avaliações de variabilidade espacial e temporal da lavoura e auxiliar no rastreamento de produtos agrícolas através do histórico de produção.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Feijoeiro**

O feijão é uma das leguminosas mais consumidas no Brasil, estando presente em diversos pratos brasileiros como um importante alimento na dieta da população (SANTOS, 2020). Além do seu uso na alimentação humana, o feijão pode ser utilizado na dieta de animais. Pertencente à família Fabacea, sendo uma das leguminosas mais estudadas na América Latina por ser considerada uma das principais fontes de proteínas e de grande importância para a indústria de alimentos.

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de feijão segundo dados da Food and Agriculture Organization (FAO), e, desta forma, torna-se de grande importância socioeconômica (SANTOS, 2020). Apesar da alta produtividade, a produção ainda é considerada pequena, pois diversos fatores contribuem para essa limitação, incluindo o manejo e a resistência genética na cultura.

Constituem fortes evidências de que o feijão-caupi foi introduzido no Brasil, no Estado da Bahia, na segunda metade do século 16, pelos colonizadores portugueses (FILHO et al. 2011).

Os estádios fenológicos do feijão-caupi, tem duração média em dias e graus-dia seguindo tabela abaixo (TABELA 1), no qual apresentou um ciclo de 60,3 dias e 1103,5 graus-dia (MOURA et al. 2012).

Tabela 1 – Duração média e cumulativa em dias, graus-dia e altura média das plantas por estágio fenológico no desen-volvimento de feijão-caupi, variedade BR 17 – Gurguéia.

EST	DIAS		Alt P. (cm)	
	Est	Cum	Est	Cum
-	3	3	-	-
VC	1	4	-	-
VE	5,2	9,2	8,9	8,9
V1	3,5	12,7	8,9	17,8
V2	3,4	16,1	3,2	21
V3	2,7	18,8	3,6	24,6
V4	2,6	21,4	5,2	29,8
V5	2,5	23,9	5,6	35,4
V6	2,6	26,5	5,4	40,8
V7	2,4	28,9	5,5	46,3
V8	2,5	31,4	5,5	51,8
V9	2	33,4	6,3	58,1
V10	1,7	35,1	6	64,1
V11	1,6	36,7	9,3	73,4
V12	1,5	38,2	19,3	92,7
V13	1,7	39,9	21,6	114,3
R1	9,1	49	-	-
R2	4,1	53,1	-	-
R3	3,2	56,3	-	-
R4	5,5	61,8	-	-
R5	3	64,8	-	-

EST = Estádio; Cum = Cumulativo; Alt. P. = Altura de Planta

Fonte: Adaptado de MOURA et al. (2012).

## 2.2 Algodoeiro

De acordo com a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO (2021), o Brasil tem se mantido entre os cinco maiores produtores mundiais e ocupando o primeiro lugar em produtividade em sequeiro. O estado do Mato Grosso e da Bahia são responsáveis pela produção de 90,06 % da produção total brasileira, sendo o estado do Mato Grosso o maior produtor de algodão no Brasil (TABELA 2). Ainda seguindo os dados divulgados pela ABRAPA, houve uma diminuição de 12,34% da produção total de algodão em caroço no Brasil.

Tabela 2 – Dados de produção brasileira de algodão em caroço em mil toneladas, divulgados pela ABRAPA.

PRODUÇÃO DE ALGODÃO EM CAROÇO					
REGIÃO	2019/20 (1000 x ton)	2020/21 (1000 x ton)	Aumento / Diminuição (1000 x ton)	Porcentagem produção entre safra 19/20 e 20/21 (%)	Porcentagem produção safra 20/21 (%)
CENTRO- OESTE	5.413,40	4.149,80	-1.263,60	-13,21	72,13
GO	152,5	117,4	-35,10	-13,00	2,04
MS	142,2	109,5	-32,70	-12,99	1,90
MT	5.118,70	3.922,90	-1.195,80	-13,23	68,19
NORDESTE	1.685,00	1.415,10	-269,90	-8,71	24,60
AL	1,3	3,3	2,00	43,48	0,06
BA	1.491,60	1.258,90	-232,70	-8,46	21,88
CE	166,67	6,7	-159,97	-92,27	0,12
MA	114,8	106,9	-7,90	-3,56	1,86
PB	3	1,7	-1,30	-27,66	0,03
PI	70,7	36,5	-34,20	-31,90	0,63
RN	1,1	1,1	0,00	0,00	0,02
NORTE	65,9	54,8	-11,10	-9,20	0,95
RO	38,2	30,8	-7,40	-10,72	0,54
TO	27,7	24	-3,70	-7,16	0,42
SUDESTE	205,4	131,1	-74,30	-22,08	2,28
MG	161,2	112,4	-48,80	-17,84	1,95
SP	44,2	18,7	-25,50	-40,54	0,33
SUL	3,2	2,4	-0,80	-14,29	0,04
PR	3,2	2,4	-0,80	-14,29	0,04
Total Geral	7.372,90	5.753,20	-1.619,70	-12,34	100,00

Fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO (2021).

As variáveis climáticas que interferem diretamente no crescimento do algodoeiro são: temperatura do ar, precipitação, velocidade do vento e quantidade e radiação solar, que ocorrem de maneira combinada (BENDER, 2020). O estudo isolado de cada uma dessas variáveis não reflete a melhor forma de analisar o efeito sobre o crescimento e desenvolvimento do algodoeiro, principalmente pelo efeito fisiológico e bioquímico de cada fator tem sobre a planta (BENDER, 2020). Ainda segundo o autor, a depender da temperatura do ar e da variedade o algodoeiro necessita de 50 a 85 dias desde o plantio até a formação dos primeiros botões florais, mais 25 a 30 dias para formação de flores e mais 50 a 60 dias para

abrir as flores e amadurecer as maçãs.

O algodoeiro é uma planta de clima tropical, necessitando de verões longos, quentes e úmidos para um bom desenvolvimento vegetativo, por outro lado, o período de maturação exige tempo seco, pois a incidência de chuvas prejudica a qualidade das fibras, o autor ressalta ainda que as doenças bióticas no algodoeiro podem ser causadas por fungos, bactérias, vírus ou nematoides (SOUZA, 2020).

### **2.3 Monitoramento fitossanitário de culturas**

O monitoramento de culturas é realizado para verificar-se o nível das populações de pragas e dos inimigos naturais nas lavouras, onde as amostragens devem ser representativas da realidade, de baixo custo para não gerar impacto no custo de produção, de fácil obtenção (máximo uma hora/talhão) (PICANÇO, 2010). Além disso, para um plano de amostragem adequada, é necessário um estudo prévio da lavoura, para obter maiores informações possíveis.

São dois tipos de planos de amostragem, os convencionais e os sequenciais. Os planos amostragem convencionais são mais simples e adequados para usuários iniciais, sendo executado por dois grupos de pessoas os pragueiros e os monitores (PICANÇO, 2010). Os pragueiros normalmente formam duplas (um anotador e um avaliador) e eles são responsáveis para avaliação das intensidades de ataque das pragas e densidades de inimigos naturais nos talhões. Já os monitores são responsáveis pelo processamento dos dados coletados pelos pragueiros calculando a intensidade média de ataque das pragas nos talhões como também as densidades de inimigos naturais (PICANÇO, 2010). O monitor decidirá em quais talhões é necessário a realização de medidas artificiais de controle. Também o monitor é responsável pela fiscalização do trabalho dos pragueiros (PICANÇO, 2010).

Já os planos de amostragem sequenciais são mais complexos, portanto mais adequados para usuários mais tecnicados e que já empregam a algum tempo planos convencionais de amostragem. O plano sequencial de amostragem executado por apenas um grupo de pessoas que no campo avaliam e tomam decisão de controle. Os planos sequenciais são mais representativos de cada talhão e economizam de 50% a 70% do tempo, custo e mão-de-obra. Entretanto esse plano de amostragem requer usuários mais tecnicados. Os planos sequenciais tem os mesmos componentes do plano convencional com exceção ao número de amostras que é diferente em cada talhão e a tomada de decisão (PICANÇO, 2010).

Segundo BABOSA, QUINTELA e OLIVEIRA (2021) o monitoramento de

populações de espécies-praga e a determinação do nível de ação possibilitam o controle racional e econômico, causando redução dos custos de produção, do impacto ambiental de produtos químicos, dos riscos de resíduos no produto e de intoxicação dos trabalhadores, além do aumento da sobrevivência dos inimigos naturais das pragas (insetos benéficos). Resultando, por fim, em produção econômica ambientalmente sustentável e garantia de qualidade de vida para os produtores e trabalhadores do campo. A prática de acompanhamento racional das pragas trouxe maior segurança para os agrônomos, técnicos e produtores na tomada de decisão em relação ao controle.

O período para obtenção dos dados amostrais vai variar para cada cultura, dependendo do ciclo fenológico, do histórico fitossanitário da lavoura, das condições climáticas da região, entre outros fatores que vão influenciar diretamente no plano de monitoramento da cultura.

## **2.4 Geotecnologias**

As geotecnologias consistem em ferramentas e técnicas combinadas de softwares e hardwares para um mecanismo rápido, econômico e eficiente para o levantamento e análises de informações georeferenciadas (TOSTÔ et al. 2014). Dessa forma, as geotecnologias na atualidade são imprescindíveis para apoiar avanços na identificação, qualificação, quantificação e no monitoramento de áreas agrícolas e recursos naturais (TOSTÔ et al. 2014).

Reghini e Cavichioli (2020) expõe que as geotecnologias são técnicas que abrangem tecnologias de processamento e armazenamento de dados geoespaciais por meio dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS), e Sistemas de Processamento de Imagens (SPI). O autor menciona que o nome mais correto para o Global Positioning System (GPS) é Navigation System for Timing and Ranging (NAVSTAR), esse sistema é composto por três segmentos: espacial (satélites), controle (rede de estações terrestres de monitoramento) e por fim, usuários.

Os índices de vegetação como uma importante combinação de geotecnologias (sensoriamento remoto + geoprocessamento), uma vez que, a vegetação em bom desenvolvimento vegetativo absorve a radiação na região do visível para a realização da fotossíntese (FURTADO et al. 2020). A intensidade da resposta é mais relevante quanto mais desenvolvida estiver a planta, portanto, esses índices refletem o estado de desenvolvimento da cultura, bem como a probabilidade de rendimento (FURTADO et al. 2020).

As informações necessárias para elaboração de índices, geralmente, são capturadas por ARP's e Satélites que conseguem embarcar diferentes tipos de sensores.

## **2.5 Aeronave Remotamente Pilotada – ARP X Satélite artificial**

As Aeronaves Remotamente Pilotada – ARP's são definidas como aeronaves motorizadas, sem a presença de um piloto humano, sendo operadas de forma remota por um operador ou de forma autônoma (PESSI et al. 2020). Além disso, podem transportar uma variedade de cargas, dependendo do tipo, da funcionalidade, das características operacionais e dos objetivos da missão (PESSI et al. 2020).

Associação de Sistemas de Veículos Não Tripulados Internacional (AUVSI) prevê que 80% das ARP's concedidos pela FAA nos EUA serão usados na agricultura (PESSI et al. 2020). Em comparação com outras plataformas de sensoriamento remoto, como satélites e aeronaves tripuladas, os ARP's podem ser implantadas facilmente e têm menor custo operacional, tornando-se uma ferramenta promissora para o monitoramento frequente de locais de pesquisa agrícola e campos agrícolas (PESSI et al. 2020).

Satélite artificial é um equipamento de fabricação humana introduzido na órbita de um planeta ou corpo celeste, posicionado no espaço com auxílio de um foguete (TOSTÔ et al. 2014). Existem diversos tipos de satélites artificiais em órbitas do planeta Terra e equipados com diferentes tipos de sensores e câmeras que registram informações da superfície terrestre (TOSTÔ et al. 2014). Além disso, os satélites tem objetivos específicos, destinados à comunicação, aos recursos naturais, a aplicação militar, ao posicionamento espacial.

O uso dos ARP's estão complementando e suprindo as desvantagens do uso dos satélites, principalmente pela resolução espacial insuficiente para determinados casos (ROSA, 2021). Os ARP's estão fornecendo novas ferramentas para melhorar o monitoramento da vegetação, fornecendo dados com resoluções temporais e espaciais mais altas (ROSA, 2021). O sensoriamento remoto com ARP tem grande potencial para o mapeamento com dados complexos, devido às imagens de altíssima resolução adquiridas em baixas altitudes.

## **2.6 Realidade Virtual - RV**

A realidade virtual consiste em um mundo, um espaço ou um ambiente que podemos perceber e interagir, aproximando a realidade física, através dos nossos sentidos e ações, projetados e simulados por técnicas de hardwares e softwares (DIAS, 2009). Além disso, o autor define que a realidade virtual pode ser baseado em um mundo real ou em cenários fictícios, possibilitando transportar usuários para situações reais ou imaginárias, interagindo com objetos virtuais estáticos ou em movimento (DIAS, 2009).

São quatro elementos chaves da experiência de um sistema de realidade virtual, o

primeiro elemento é o mundo virtual no qual consiste em um espaço imaginário manifestado pela descrição dos objetos, elementos, relações e regras que governam o ambiente. O segundo elemento descrito pelo autor é a imersão que consiste na capacidade de o sistema envolver e inserir o usuário no mundo virtual. O terceiro elemento é o estímulo sensorial, definido pela capacidade de o usuário interagir pelo seu movimento físico ao mundo virtual através do sentido visual que o usuário recebe. O quarto e último elemento exposto pelo autor é a interatividade, no qual, é a capacidade do sistema de realidade virtual interagir com usuário, respondendo às ações dos usuários (SHERMAN e CRAIG, 2003).

A tecnologia de realidade virtual melhora a eficiência da produção agrícola, melhorando também a eficiência e sustentabilidade do uso dos recursos agrícolas, podendo ser usada para rastrear, gerir, monitorar e treinar equipes envolvidas na produção agrícola (YU et al. 2014). O autor ainda destaca que a tecnologia, nos últimos anos, está ganhando destaque científico e comercial no meio agrícola, frisando a permeabilidade que a tecnologia tem em vários campos da produção agrícola.

Com os dados amostrais ponto a ponto, é necessário realizar uma interpolação que estima os dados da vizinhança e consiga aproximar a realidade.

## **2.7 Interpolação espacial de dados**

Segundo SOUZA et al. (2011), a interpolação é um procedimento que permite construir um novo conjunto de dados a partir de um conjunto discreto de dados pontuais conhecidos, ou seja, trata-se de um método que possibilita proceder à reconstituição (aproximada) de uma função apenas conhecendo algumas das suas abscissas e respectivas ordenadas. O autor cita que a interpolação constitui-se num método de estimar um parâmetro para o qual não existe informação disponível, considerando-se que os pontos próximos no espaço tendem a ter valores mais semelhantes do que pontos mais afastados.

A interpolação IDW, inverso ponderado da distância, é um método puramente matemático, o método estima um valor para um local não amostrado como uma média dos valores dos dados dentro de uma vizinhança (SOUZA et al. 2011). O cálculo da média é ponderada pela distância entre o ponto a ser interpolado e seus vizinhos, destaca-se que o peso da distância é ajustado por um expoente, isso implica que, quanto maior expoente, maior será a influência da distância (SOUZA et al. 2011).

## **2.8 Agricultura de Precisão - AP**

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2013), a Agricultura de Precisão (AP) é um sistema de gestão que considera a variabilidade espacial das lavouras em todos seus aspectos, na produtividade, no solo (características físicas, químicas, compactação etc), infestação de ervas daninhas, pragas e doenças.

Os sistemas de gestão em agricultura de precisão são alternativas modernas para otimizar os recursos da produção agrícola, resultando em uma maior competitividade no mercado devido a otimização de recursos de produção e aumento considerável da produtividade (ROSA, 2021). Além disso, o autor cita que um dos problemas da AP é a necessidade de uma grade de amostragem densa, a fim de aumentar a acurácia e representação dos resultados.

## **2.9 Plataformas de monitoramento**

Ferramentas de tecnologia de informação estão presentes em praticamente toda as áreas do conhecimento (BLAINSKI, 2019). Na agricultura atual, novas ferramentas digitais modificam e otimizam as etapas produtivas agrícolas. Conseqüentemente há aumento na produtividade, redução de custos, agilidade e segurança alimentar para o campo (BLAINSKI, 2019). As tecnologias de informações, integram um conjunto de ferramentas e recursos tecnológicos que é aplicado de modo integrado para cumprir um objetivo em comum. Isso envolve componentes de software e hardware que funcionam para facilitar a comunicação e processos no âmbito virtual (BLAINSKI, 2019).

A geração de mapas georreferenciados fornece aos produtores uma visão mais acurada de sua área agrícola com capacidade mais eficaz e maximizada de fazer o manejo de sefras (ANDRADE et al. 2019).

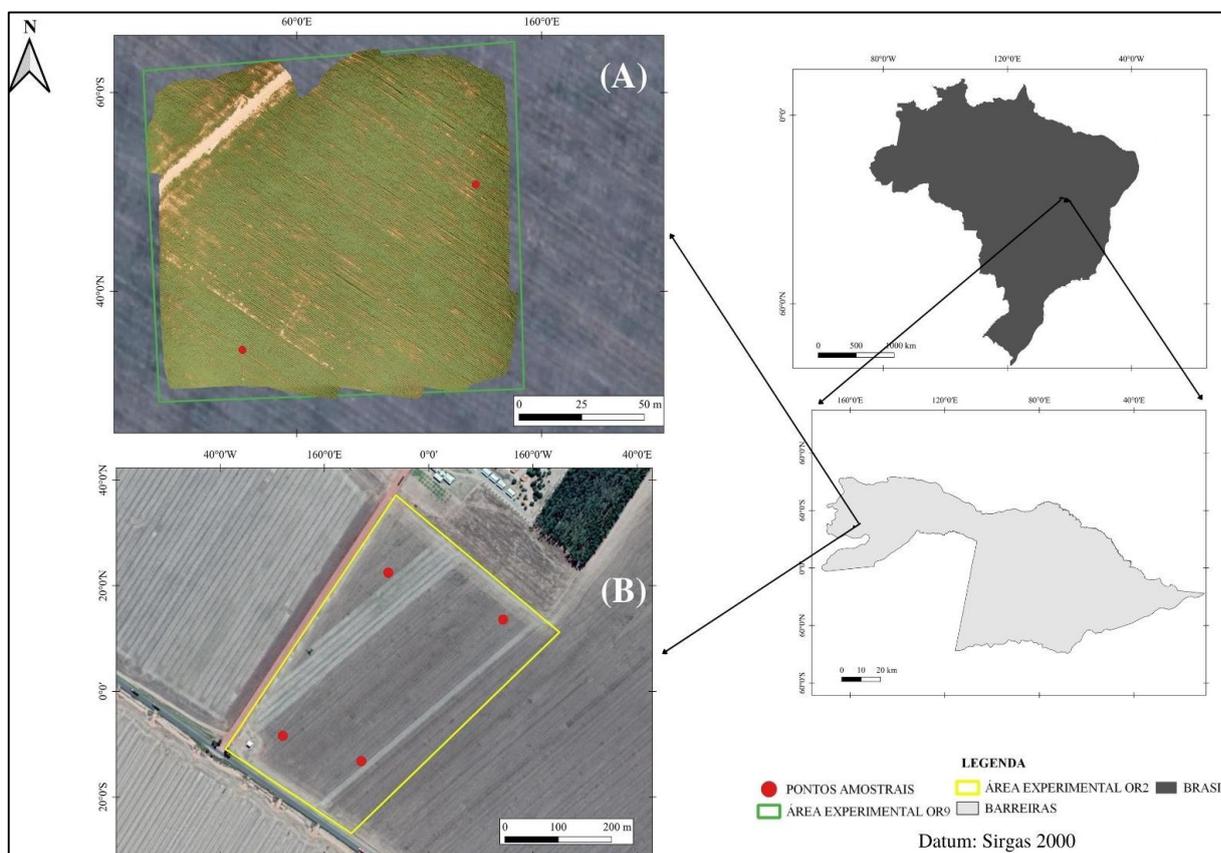
## **3 METODOLOGIA**

### **3.1 Área de estudo e especificações**

O experimento foi executado na fazenda Orquídeas do grupo Schmidt Agrícola localizada na região de Barreiras/BA, oeste baiano, com coordenadas geográficas latitude 11°50'31,9" S e longitude 46°14'37,4" O, altitude 719 m. A vegetação predominante é cerrado, sendo relevo plano, possuindo assim uma baixa declividade (FERREIRA, MATTRICARDI E ÂNGELO, 2017). Os solos são profundos e bem drenados, caracterizados essencialmente por Latossolos e Neossolos Quartzarênicos (FERREIRA, MATTRICARDI E

ÂNGELO, 2017). Para o estudo subdividiu os lotes OR2 e OR9, com culturas de feijão e algodão respectivamente (FIGURA 1).

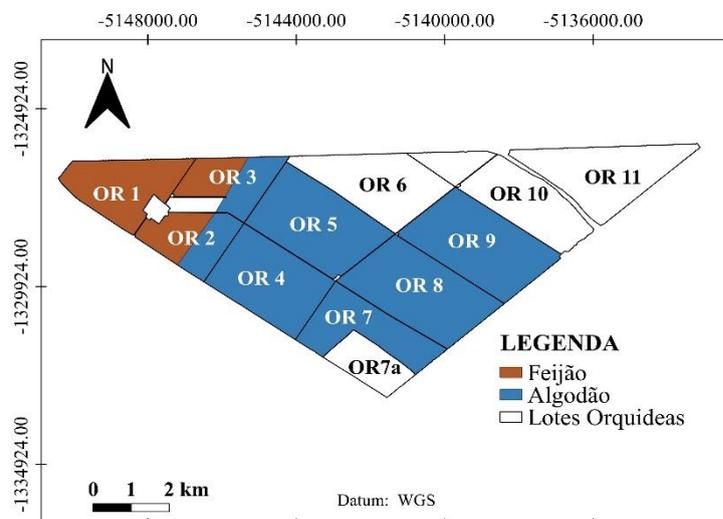
Figura 1 – Mapa de localização da área experimental OR9 (A) e OR2 (B).



Fonte: Do autor (2021).

As nomenclaturas dos lotes são iniciadas pelas iniciais da fazenda (OR de Orquídeas) seguidas de identificação numérica crescente (1, 2, 3, ... , 11). A área escolhida para o experimento do OR2 foi de aproximadamente 19 ha, do OR9 foi de aproximadamente 2 ha. O estudo da produtividade, foi realizado com os dados dos lotes com a cultura de feijão e algodão (FIGURA 2).

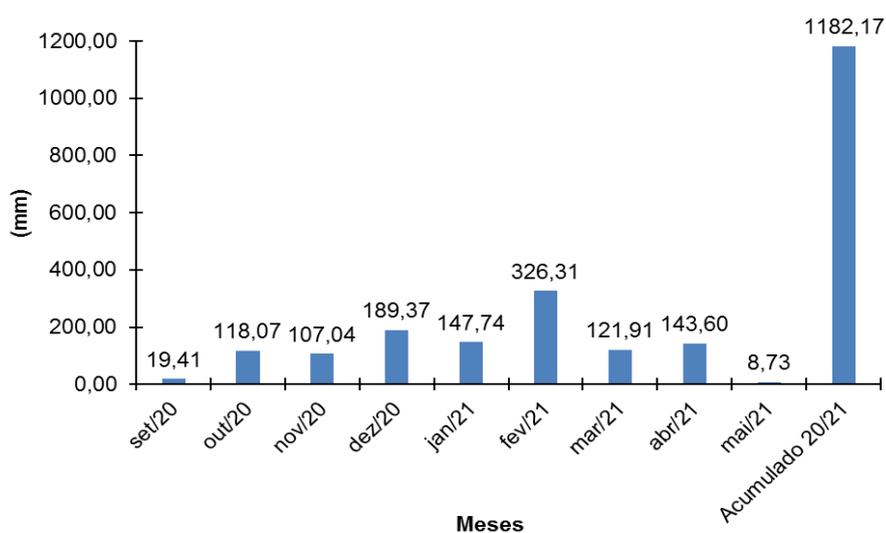
Figura 2 – Mapa dos lotes da fazenda Orquídeas, Safra 20/21, caracterizando as áreas de algodão e feijão.



Fonte: do autor.

O clima da região da área experimental, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BSh, quente e seco com chuvas de inverno (ALVARES et al. 2013). Safra 20/21 obteve um acumulado pluviométrico médio de 1182,17 mm (FIGURA 3).

Figura 3 – Grafico com valores médios mensais e acumulado safra 20/21 de chuva da fazenda Orquídeas.



Fonte: Plataforma SGPA - Solinftec (2021).

### 3.2 Equipamentos utilizados

Para as capturas das imagens 360° do experimento utilizou-se uma Aeronaves Remotamente Pilotada (ARP), DJI Mavic Pro (TABELA 3).

Tabela 3 – Especificações de ARP's utilizado na experimentação.

Especificações		DJI Mavic Pro
CÂMERA	Sensor	1/2.3 inch
	Resolução	12 MP
	ISO	100-13200
	Peril de cor	16 milhões de cores
AERONAVE	Tempo de voo máx.	27 min.
	Velocidade máx.	65 km/h
	Distância máx.	7 km
	Peso	734 g

Fonte: Adaptado de DJI (2021).

Para encontrar os pontos experimentais pré-estabelecidos utilizou-se um GPS de navegação Garmin Etrex 10 e para a marcação dos pontos foi utilizado bandeiras de polipropileno, próprias para utilização em campo (FIGURA 4).

Figura 4 – Ilustração de bandeira de polipropileno e GPS Garmin Etrex 10.



Fonte: Adaptado de Garmin (2021) e Agropeq (2021).

### 3.3 Captura e processamento das imagens

Para o estudo da melhor angulação das capturas de imagens 360°, foram pré-estabelecidas as alturas de voos e as quantidades de pontos amostrais. Durante o período do experimento, foram realizados dois vãos em dias e ciclos fenológicos distintos em cada ponto amostral nas lavouras de feijão e algodão. A escolha das datas ocorreu de acordo com a disponibilidade do equipamento para os voos, aliada com a disponibilidade de técnicos para as coletas de dados in loco (TABELA 4).

Tabela 4 – Alturas e quantidades de pontos amostrais por área experimental e estágio fenológico.

	Culturas \ Voos	DAS	Estádios	Altura ARP (m)	Pontos amostrais
19/mar	Feijão 03/04/2021	14	V2	1,0	4
	Feijão 01/05/2021	42	R5	1,2	4
18/dez	Algodão 08/04/2021	111	Fn	2,00	2
	Algodão 01/05/2021	133	FC	2,00	2

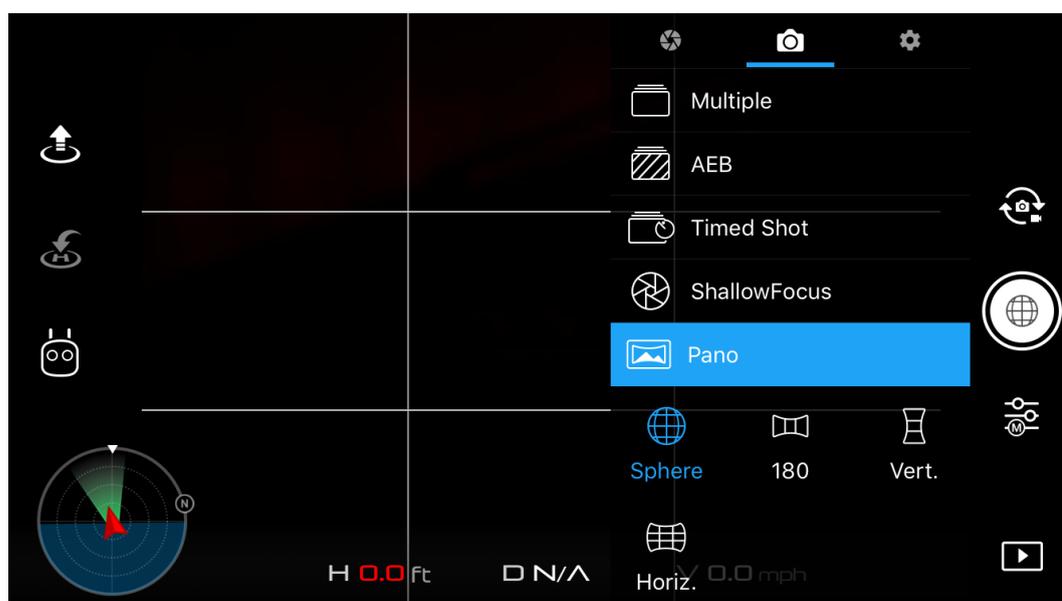
DAS = Dias Após a Semeadura; V2 = Folhas Primárias ; R5 = Pré Floração;

Fn = Floração completa; FC = Última flor e primeiro capúlho.

Fonte: do autor (2021).

Os planos de capturas das imagens para o processamento 360° foram realizadas no aplicativo original de voo dos ARP's da marca DJI, o DJI GO 4, utilizando a função “photo sphere”, no qual o aplicativo programa e captura 34 fotos. A junção e o processamento das imagens, transformando as 34 fotos em um mosaico 360°, foi realizado no próprio aplicativo DJI GO 4 (FIGURA 5).

Figura 5 – Tela do aplicativo DJI GO 4 no modo “PHOTO SPHERE”.



Fonte: do autor (2021).

Para a captura das imagens do ortomosaico, foi realizado um voo na área experimental do OR9, com auxílio do software Pix4D capture (free trial), com altura de voo de 50 m e um Ground Sample Distance (GSD) de aproximadamente 1,92 cm/pixel. As sobreposições frontal e lateral de voo foi de 80%. Já o processamento das imagens capturadas e geração do ortomosaico foi utilizado o software Agsoft Metashape (free trial).

Após o processamento das imagens e geração do ortomosaico, foram separadas as bandas Red, Green e Blue (RGB), com o auxílio da ferramenta “Split RGB bands” do software QGIS 3.4.14 (free trial), para posterior cálculo dos índices de vegetação RGB.

### 3.4 Avaliações in loco

As avaliações de stand de plantas, pragas e doenças das lavouras foram realizadas por um técnico da equipe de monitoramento da fazenda, no qual realizou as avaliações no mesmo dia e intervalo de tempo das imagens capturadas pelo ARP (TABELA 5).

Tabela 5 – Dias e horários das avaliações por área experimental e pontos.

Ponto Amostral	Culturas (DAS/Estádio)	Avaliação in loco		Captura imagens 360°	
		DIA	HORA	DIA	HORA
1	Feijão 14/V2	03/abr/21	10:15	03/abr/21	10:21
	Feijão 42/R5	01/mai/21	10:18	01/mai/21	10:05
2	Feijão 14/V2	03/abr/21	10:34	03/abr/21	10:39
	Feijão 42/R5	01/mai/21	10:26	01/mai/21	10:35
3	Feijão 14/V2	03/abr/21	10:53	03/abr/21	10:58
	Feijão 42/R5	01/mai/21	10:45	01/mai/21	10:52
4	Feijão 14/V2	03/abr/21	11:17	03/abr/21	11:23
	Feijão 42/R5	01/mai/21	11:18	01/mai/21	11:06
1	Algodão 111/Fn	08/abr/21	09:48	08/abr/21	10:28
	Algodão 133/FC	01/mai/21	11:50	01/mai/21	12:10
2	Algodão 111/Fn	08/abr/21	10:02	08/abr/21	10:45
	Algodão 133/FC	01/mai/21	12:28	01/mai/21	12:40

DAS = Dias Após a Semeadura; V2 = Folhas Primárias ; R5 = Pré Floração; Fn = Floração completa; FC = Última flor e primeiro capúlho.

Fonte: do autor (2021).

Foi estabelecido que as avaliações de pragas e doenças seguiriam um parâmetro qualitativo de presença e ausência e as avaliações de stand de plantas e ervas daninhas por parâmetro quantitativo, em plantas por metro linear e população por metro quadrado respectivamente. Vale ressaltar que as avaliações de estande e plantas daninhas só foi possível realizar na área experimental de feijão (TABELA 6).

Tabela 6 – Metodologia de avaliações in loco.

Culturas	Avaliação Qualitativa				Avaliação Quantitativa	
	DAS	Estádios	Praga	Doença	Daninha	Estande
Feijão 03/04/2021	14	V2	Praga presente / por ponto amostral	Doença presente / ponto amostral.	Daninhas/m <sup>2</sup>	Plantas/m
Feijão 01/05/2021	42	R5	Praga presente / por ponto amostral	Doença presente / ponto amostral.	Daninhas/m <sup>2</sup>	NA
Algodão 08/04/2021	111	Fn	Praga presente / por ponto amostral	Doença presente / ponto amostral.	NA	NA
Algodão 01/05/2021	133	FC	Praga presente / por ponto amostral	Doença presente / ponto amostral.	NA	NA

DAS = Dias Após a Semeadura; V2 = Folhas Primárias ; R5 = Pré Floração; Fn = Floração completa; FC = Última flor e primeiro capúlho; NA = Não Avaliado

Fonte: do autor (2021).

### **3.5 Avaliações das imagens 360°**

As avaliações de stand de plantas, pragas e doenças das áreas com as imagens 360° foram realizadas por um técnico da equipe de monitoramento da fazenda, importante ressaltar que o técnico que realizou as avaliações in loco não foi o mesmo que realizou as avaliações das imagens 360°, procurando reduzir a probabilidade de vícios de avaliação.

A metodologia de avaliação das imagens 360° seguiu o mesmo padrão de avaliação na lavoura para as pragas e doenças, seguindo um parametro qualitativo de presença e ausência. Já para a avaliação do stand de plantas e ervas daninhas, por parametro quantitativo, estimando valores de acordo com o visual da imagem.

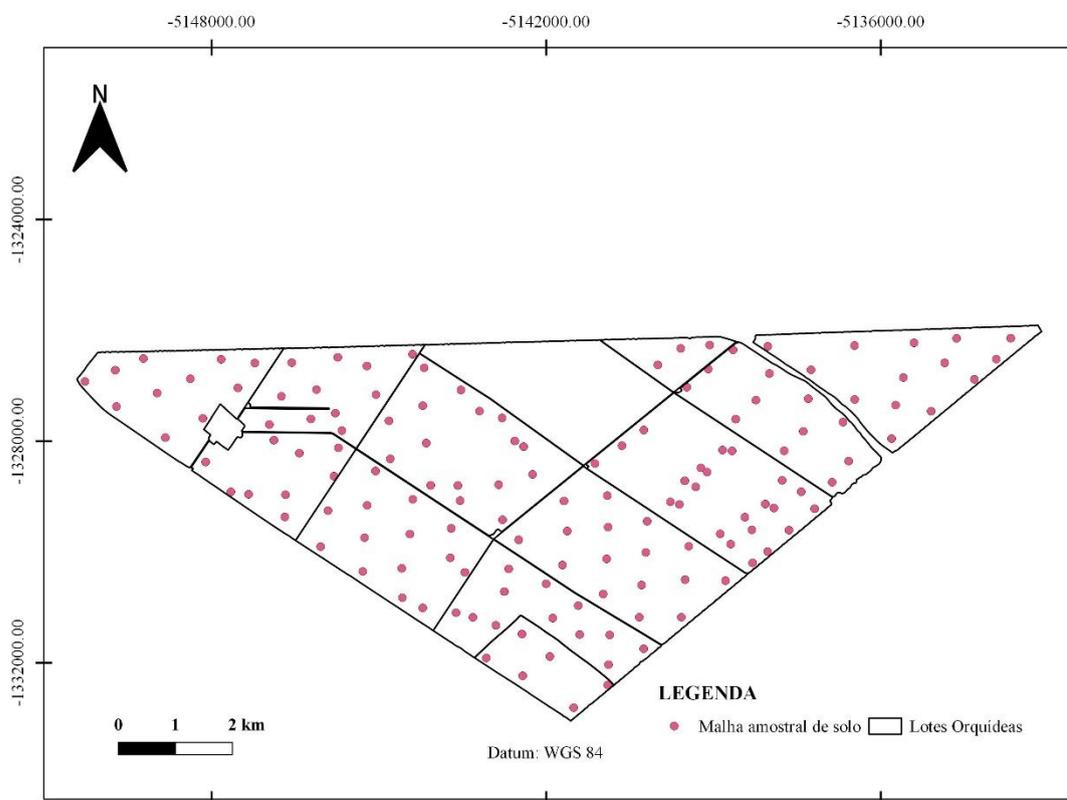
### **3.6 Interpolações espaciais dos dados**

Para geração dos mapas de interpolação espacial dos dados, utilizou-se o método de interpolação espacial inverso da distância (IDW), a fim de classificar e visualizar os resultados das avaliação das imagens e da lavoura em mapas da área.

Além disso, utilizou-se o método IDW para interpolar dados pluviométricos e dados de solo, dados esses, fornecidos pela fazenda. As informações pluviométricas acumuladas, foram obtidas no intervalo de safra 20/21, já os dados de amostragem foram coletados na camada 0-20 cm do solo, em jun/2021, período de pré-safra 21/22.

Com o auxílio da ferramenta “interpolação IDW” do software QGIS 3.4.14, foi realizado as interpolações pelo método IDW (FIGURA 6).

Figura 6 – Malha amostral das interpolações dos dados de solo com profundidade 0-20 cm, pelo método IDW.



Fonte: Do autor

### 3.7 Índices de vegetação

Para o cálculo do índice de vegetação RGB do ortomosaico realizado na área do OR9, utilizou-se a função “calculadora raster” do software QGIS 3.4.14. Foram realizados os cálculos dos índices MPRI (EQUAÇÃO 1), VARI (EQUAÇÃO 2).

$$\text{MPRI} = (\text{GREEN} - \text{RED}) / (\text{GREEN} + \text{RED}) \quad (1)$$

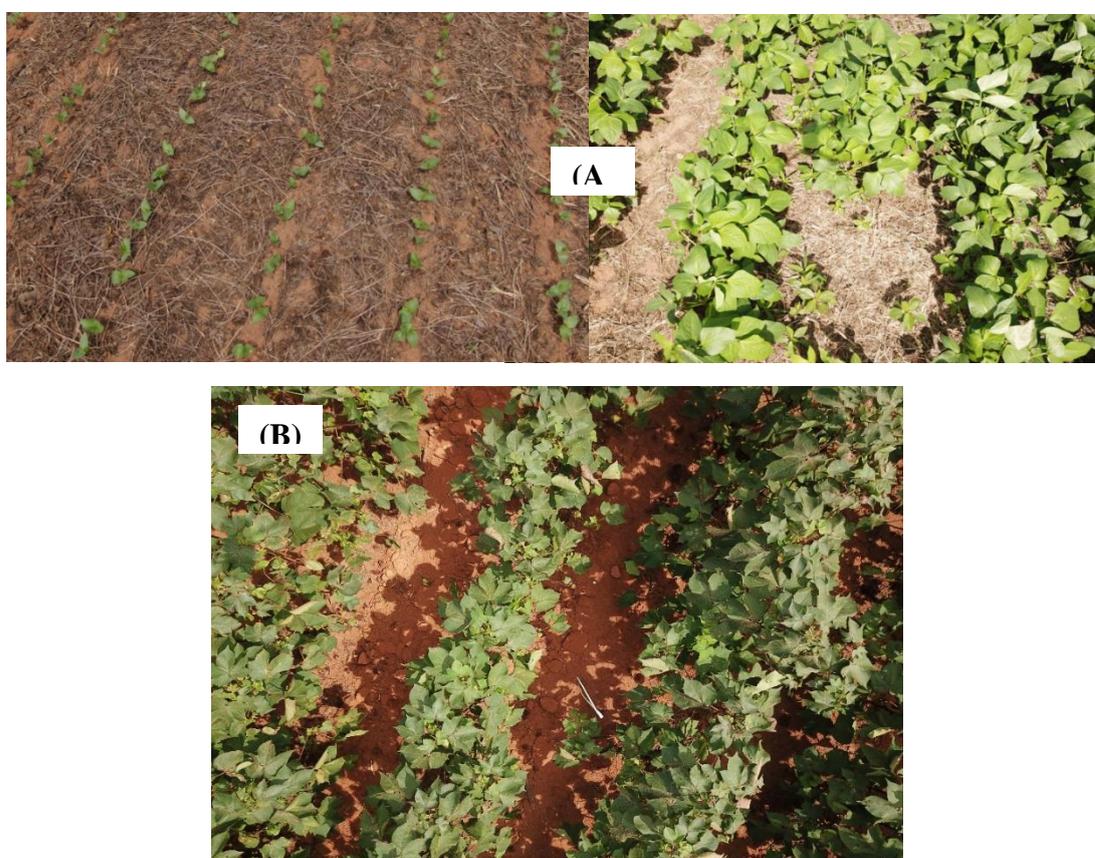
$$\text{VARI} = (\text{GREEN} - \text{RED}) / (\text{GREEN} + \text{RED} - \text{BLUE}) \quad (2)$$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Monitoramento por imagens 360°

A altura ideal de voo para captura das 34 fotos, foi de um intervalo de 80 à 150 cm da copa da planta, dependendo do estágio fenológico da cultura, percebeu-se que essa altura foi válido para as capturas das imagens na culturas de feijão e algodão (FIGURA 7).

Figura 7– Resultados da altura de voo para captura das 34 fotos, Cultura do Feijão (A) e Cultura do algodão (B).



Fonte: do autor (2021).

Os fatores de luz e velocidade do vento interferem nas coletas das imagens, a velocidade do vento faculta a instabilidade de voo da aeronave ocasionando o efeito fantasma no panorama 360°. Já a luz ocasiona efeitos de sombra e saturação na imagem, dificultando as análises visuais das imagens (FIGURA 8).

Figura 8 – Efeitos atmosféricos nas fotos esféricas, efeito fantasmas, saturação e sombra na cultura do feijão.



Fonte: do autor (2021).

Além disso, para manutenção do equipamento é necessário que a missão seja realizada em um intervalo de umidade do ar ideal. Os problemas foram solucionados a partir da definição das melhores condições atmosféricas de voo (TABELA 7).

Tabela 7 - Condições atmosférica para execução do plano de voo de captura de imagens 360°.

Condições atmosféricas ideais para iniciar missão de voo		
Velocidade do Vento (km/h)	Radiação solar (horário)	Umidade do ar (%)
0 - 15	10:00 - 14:00	0 - 50

Fonte: do autor (2021).

Para o acesso e armazenamento seguro das imagens 360°, foi utilizado a plataforma do Google Fotos (free trial). Posteriormente, foi gerado links de compartilhamento para acesso na plataforma de monitoramento.

Comparado ao sistema de avaliação in loco as avaliações por imagens 360° obteve uma relação relevante para o monitoramento de estande de plantas e população de daninhas, porém para o monitoramento de pragas e doenças o método não foi eficaz, pela razão na qual a avaliação in loco, realiza a avaliação em toda a planta, já a avaliação 360° só consegue pegar a superfície visual aérea. Importante ressaltar que a avaliação de stand e erva daninha, foi realizada apenas em estádios fenológicos que apresentavam necessidades de avaliações (TABELA 8 e 9). Resultados para monitoramento fitossanitário da lavoura por imagens 360°

divergem da teoria de PICANÇO (2010) que frisa o fato de que o monitoramento fitossanitário deve verificar o nível das populações de pragas e dos inimigos naturais nas lavouras, onde as amostragens devem ser representativas da realidade e as imagens de realidade virtual não obtiveram essa representatividade.

Tabela 8 – Resultados das avaliações de estande de plantas e população de ervas daninhas.

		AVALIAÇÕES				
		IN LOCO		360°		
Cultura	P	Ervas Daninhas	Estande de plantas	Ervas daninhas	Estande de plantas	
03-abr-21	Feijão	1	NI	9,6 plantas/m	NI	9,75 plantas/m
		2	Picão Preto = 2	9,2 plantas/m	NI	9,8 plantas/m
		3	NI	9,9 plantas/m	NI	10 plantas/m
		4	NI	8,8 plantas/m	NI	9,3 plantas/m
01-mai-21	Feijão	1	Leiteiro = 23	NR	Leiteiro = 18	NR
		2	Leiteiro = 14; Picão Preto = 6	NR	Leiteiro = 11 ; Picão Preto = 4	NR
		3	Picão Preto = 8	NR	Picão Preto = 6	NR
		4	Leiteiro = 17	NR	Leiteiro = 16	NR
08-abr-21	Algodão	1	NR	NR	NR	NR
		2	NR	NR	NR	NR
01-mai-21	Algodão	1	NR	NR	NR	NR
		2	NR	NR	NR	NR

NR = Não Realizado ; NI = Não Identificado; P = Pontos.

Fonte: do autor (2021).

Tabela 9 – Resultados das avaliações de pragas e doenças.

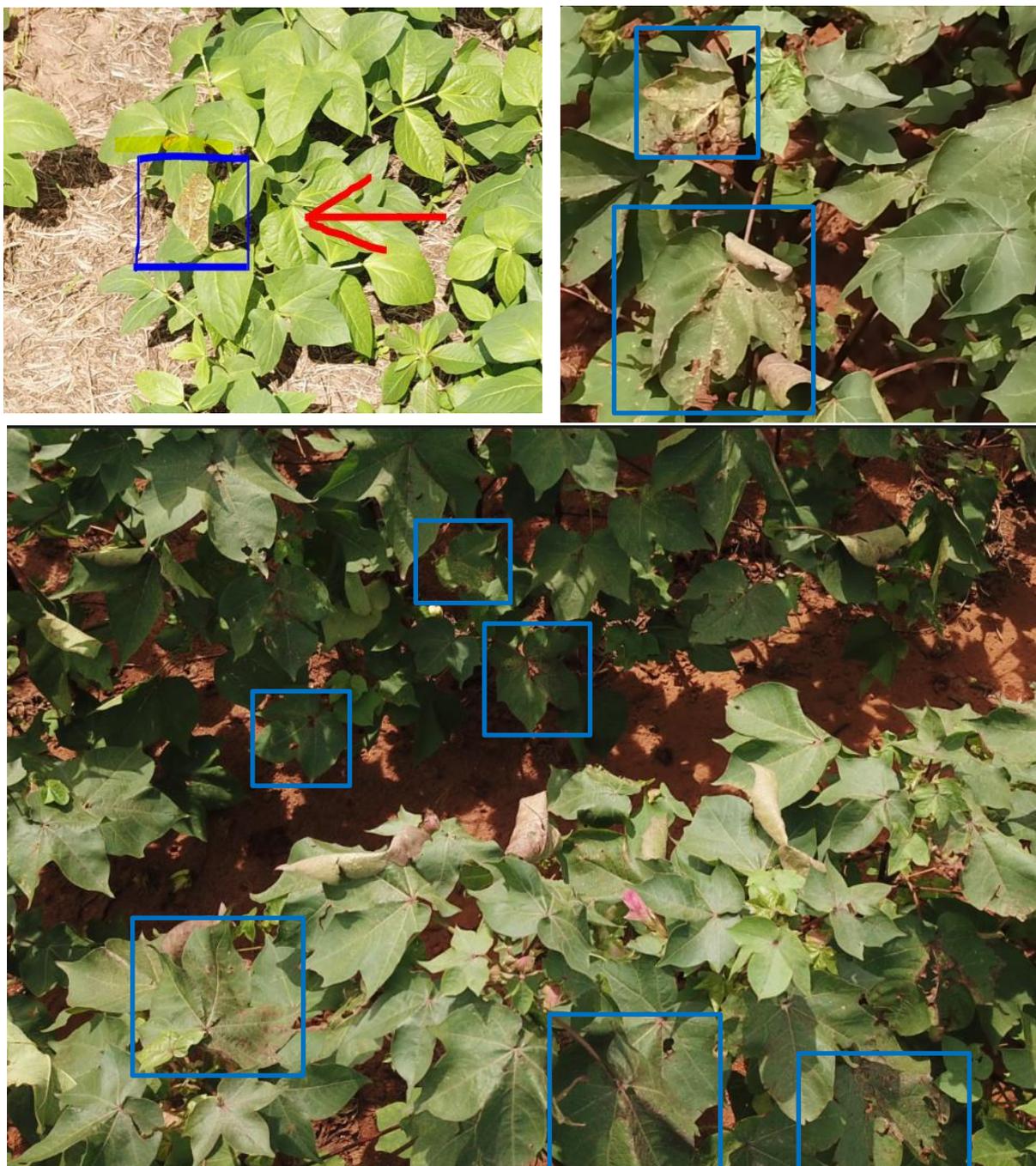
		AVALIAÇÕES						
		IN LOCO			360°			
Cultura	P	Pragas	Doenças	Outros	Pragas	Doenças	Outros	
03-abr-21	Feijão	1	Percevejo e Lagarta.	NI	NI	NI	NI	NI
		2	Percevejo.	NI	NI	NI	NI	NI
		3	NI	NI	NI	NI	NI	NI
		4	Percevejo.	NI	NI	NI	NI	NI
01-mai-21	Feijão	1	Pulgão; Lagarta; Mosca Branca e Percevejo.	Crestamento	NI	NI	Crestamento	NI
		2	Pulgão; Percevejo.	NI	NI	NI	NI	NI
		3	Lagarta; Mosca Branca e Percevejo.	NI	NI	NI	NI	NI
		4	Pulgão e Mosca Branca.	NI	NI	NI	NI	NI
08-abr-21	Algodão	1	Pulgão; Mosca Branca; Nematóide.	NI	Fito	Nematóide	NI	Fito
		2	Pulgão; Mosca Branca; Nematóide.	NI	Fito	Nematóide	NI	Fito
01-mai-21	Algodão	1	Pulgão; Mosca Branca; Nematóide.	NI	Fito	Nematóide	NI	Fito
		2	Pulgão; Mosca Branca; Nematóide.	NI	Fito	Nematóide	NI	Fito

NI = Não Identificado; P = Pontos; Fito = Fitotoxicidade;

Fonte: do autor (2021).

Foi possível identificar algumas pragas e doenças presentes nas áreas de avaliação, mas como explícito na TABELA 9, o método de avaliação não consegue detectar as pragas presentes fora do campo visual aéreo (FIGURA 9).

Figura 9– Pragas e doenças identificadas a partir das imagens 360°.



Fonte: do autor (2021).

Evidenciado na TABELA 8, as populações de ervas daninhas e stand de plantas obteve um resultado próximo as avaliações em campo, onde valida o método de avaliação 360° para

esses fatores (FIGURA 10).

Figura 10 – Ervas daninhas e estande de plantas identificadas a partir das imagens 360°.

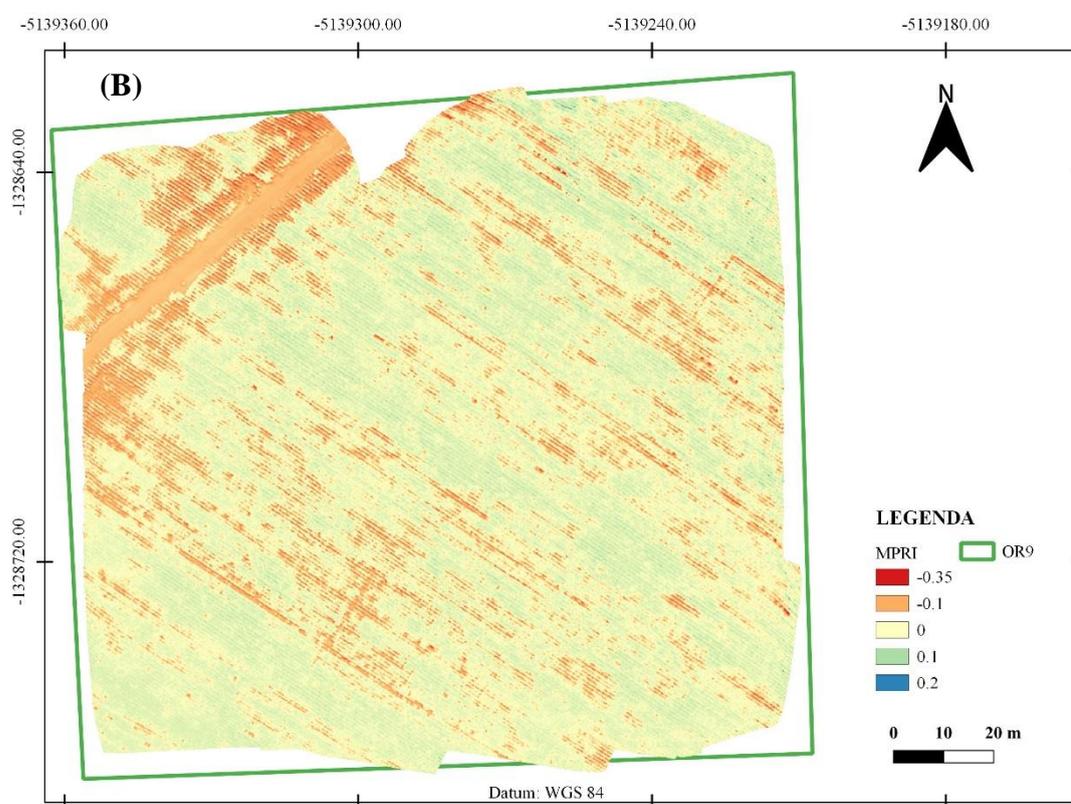
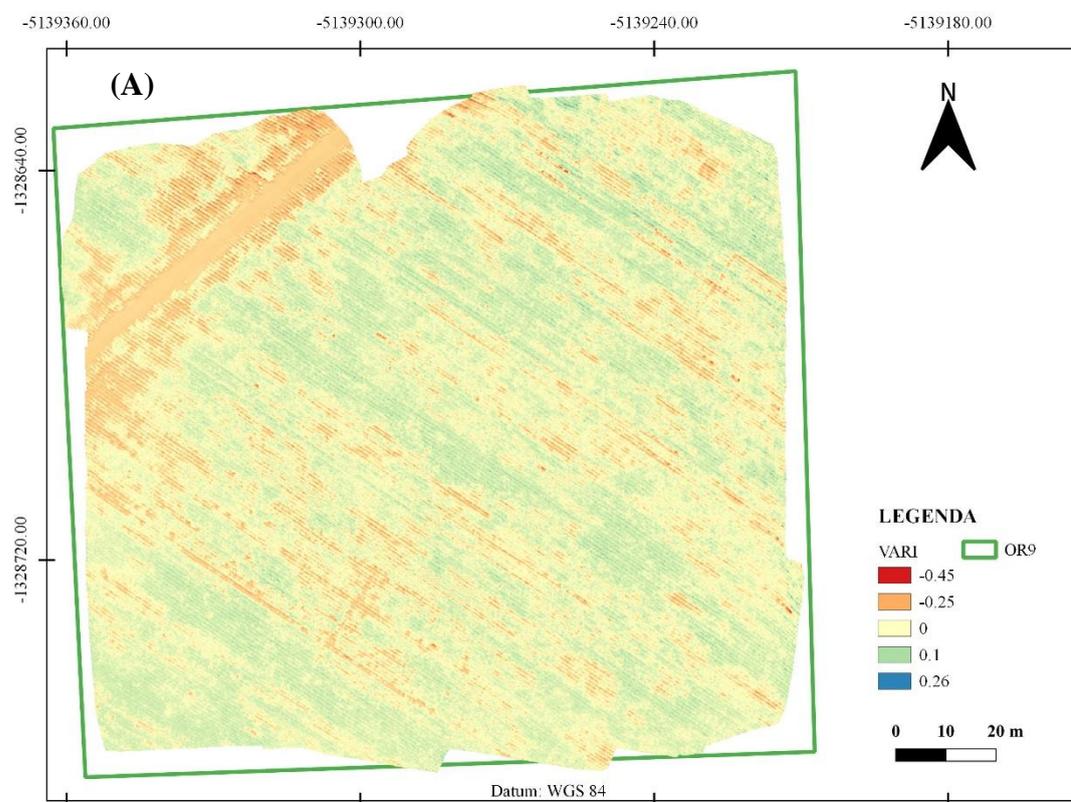


Fonte: do autor (2021).

#### 4.2 Monitoramento por Mapas 2D

Analisando as respostas vegetativas, pixel a pixel, dos dados dos índices calculados com as bandas RGB, notou-se uma resposta semelhante entre as respostas dos valores dos índices de vegetação, MPRI e VARI, onde o índice de vegetação VARI, por utilizar a banda azul (Blue) no cálculo do índice, obteve uma maior caracterização visual da saúde vegetativa, portanto é o que aproxima mais da realidade, não distanciando dos resultados do índice MPRI (FIGURA 11).

Figura 11– Mapas de índice vegetação. (A) Índice de vegetação VARI, (B) Índice de vegetação MPRI.



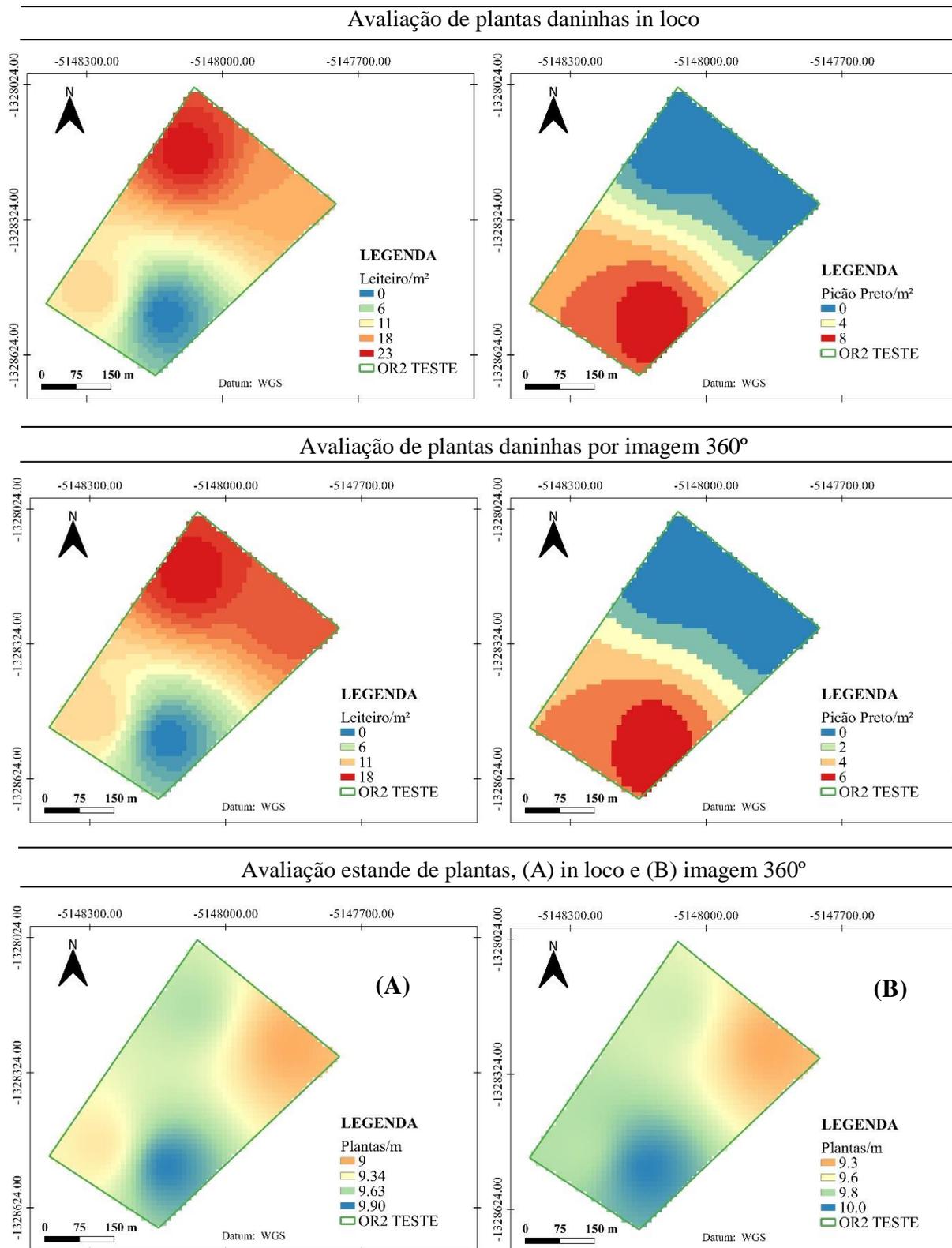
Fonte: do autor (2021).

O uso dos ARP's estão complementando e suprimindo as desvantagens do uso dos satélites ROSA (2021). Os ARP's estão sendo utilizados e fornecendo novas ferramentas para melhorar o monitoramento da vegetação.

### **4.3 Interpolação espacial dos dados**

Foi possível identificar que para a interpolação dos dados espaciais das avaliações em campo e 360°, o método IDW demonstrou clareza qualitativa e quantitativa nas representações gráficas por meio de mapas (FIGURA 12). Por tanto, para as avaliações o ideal é utilizar método de interpolação de dados espaciais. Importante ressaltar que não foi possível realizar as interpolações dos dados da área de algodão por apresentar poucos pontos amostrais e apresentar uniformidade nas avaliações.

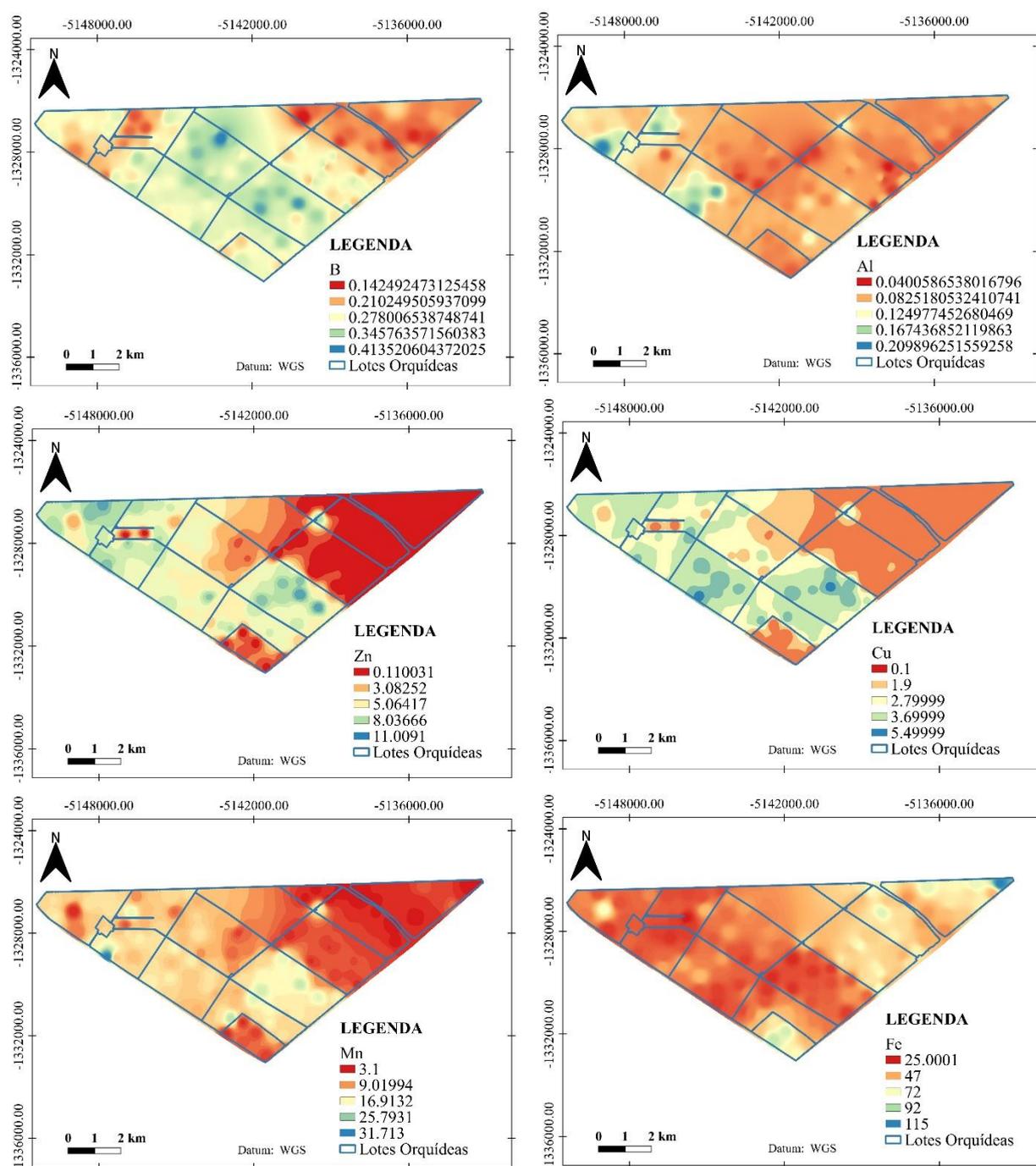
Figura 12– Mapas de interpolações IDW das imagens 360° e dados in loco.



Fonte: do autor (2021).

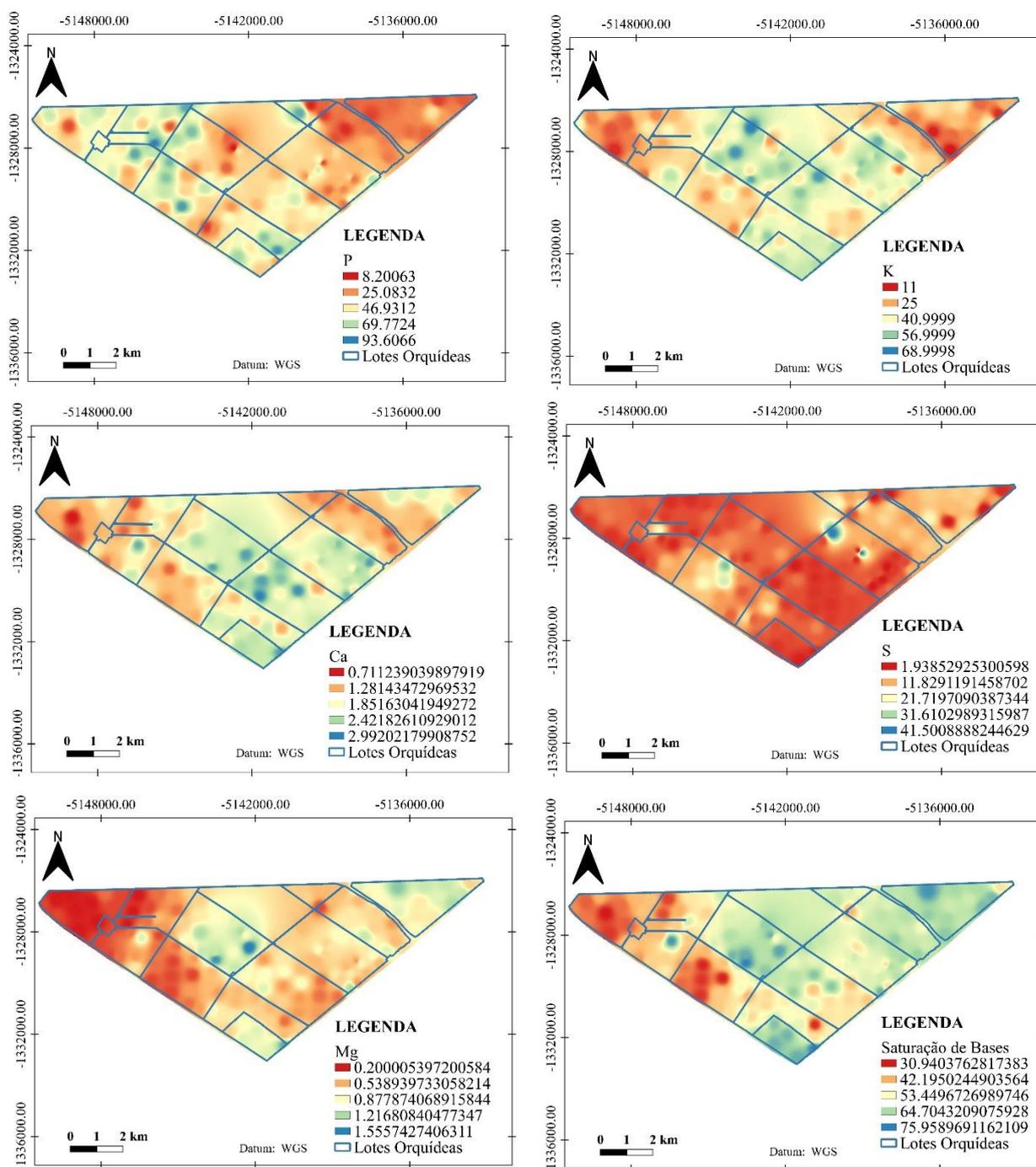
Além disso, com os dados de solo coletados em jun/2021 e os dados de chuva acumulado da safra 20/21, ambos os dados fornecidos pela fazenda, gerou-se os mapas interpolados pelo método IDW para dados de solo e para dados de precipitação acumulada, para posterior inserção na plataforma de monitoramento (FIGURA 13 a 15).

Figura 13 – Mapas de interpolações pelo método IDW para dados de micronutrientes de amostragem de solo na camada 0-20 cm, de jun/2021.



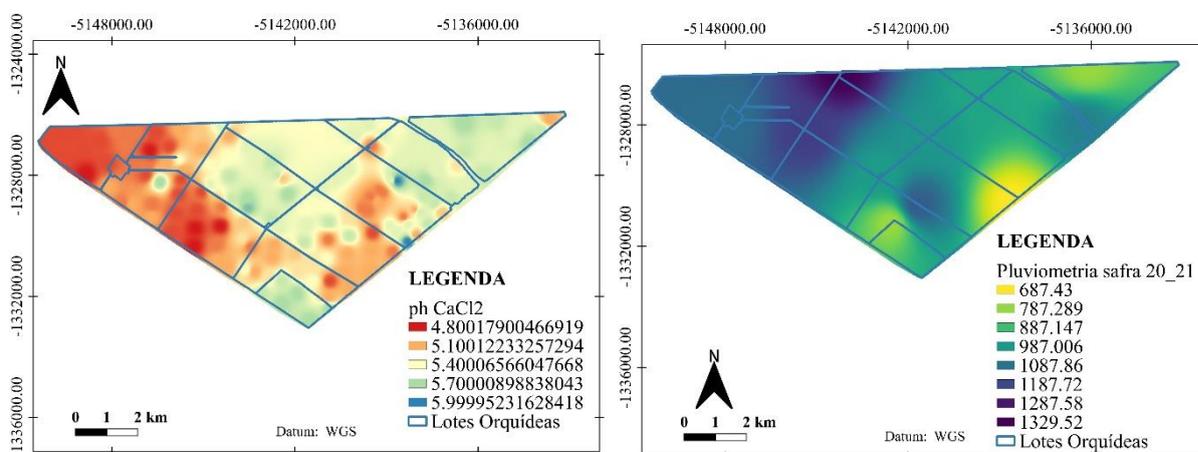
Fonte: do autor (2021).

Figura 14 – Mapas de interpolações pelo método IDW para dados de micronutrientes e saturação por bases de amostragem de solo na camada 0-20 cm, de jun/2021.



Fonte: do autor (2021).

Figura 15 – Mapas de interpolações pelo método IDW para dados ph CaCl<sub>2</sub> de amostragem de solo na camada 0-20 cm, de jun/2021 e pluviometria acumulada da safra 20/21.



Fonte: do autor (2021).

No lote OR6 não foi realizado amostragem de solo, o que impactou em resultados não confiáveis para o local, sendo estimado pela amostragem dos lotes vizinhos.

A caracterização e quantificação de atributos do solo expressa em mapas de variabilidade espacial torna-se relevante no planejamento agrícola, no que diz respeito à instalação e manutenção das culturas. Analisando visualmente os mapas de interpolação de dados de atributos do solo, pôde-se perceber que houve variabilidade na distribuição dos nutrientes de Cálcio (0,77 – 2,99 cmol/dm<sup>3</sup>), Boro (0,14 – 0,41 mg/dm<sup>3</sup>), Cobre (1,3 – 5,49 mg/dm<sup>3</sup>), Potássio (11 – 69 mg/dm<sup>3</sup>) (FIGURA 15), Magnésio (0,22 – 1,55 cmol/dm<sup>3</sup>), Fósforo ( 8,20 – 93,61 mg/dm<sup>3</sup>) e Zinco ( 0,11 -11 mg/dm<sup>3</sup>) (FIGURA 16).

Os macronutrientes primários e secundários (N, P, K, Ca, Mg, S) são os nutrientes absorvidos em grandes quantidades pelas plantas, porém, tanto os micro e macronutrientes são de grande importância na resposta produtiva agrícola. Para a correção dos valores obtidos dos teores de nutrientes presentes no solo devem ser comparados com valores de referência de necessidade de cada cultura.

O pH do solo é um indicativo da fertilidade atual, a interpolação dos dados de pH CaCl<sub>2</sub> apresentou variabilidade nos teores de 4,8 a 6. O pH mede a acidez ativa do solo, sendo classificado para a amostragem do estudo segundo PREZOTTI e GUARÇONI (2013) como média acidez (4,6 – 5,5) e fraca acidez (5,6 - 6,5).

A interpolação dos dados de saturação por bases apresentou variabilidade de 30,98 % a 75,96 %. A saturação por bases indica a porcentagem total de cargas negativas ocupadas por bases, utilizada como um dos indicativos para o manejo da calagem, com valores ideais de

50% a 80% a depender das exigências da cultura PREZOTTI e GUARÇONI (2013).

A caracterização da distribuição espacial dos teores de atributos do solo auxilia no manejo da correção dos mesmos, reduzindo custos de produção, aumentando a eficiência e precisão e consequentemente elevando a resposta produtiva da cultura.

Em relação aos dados pluviométricos acumulados interpolados da safra 20/21, observou-se variação de 687 a 1330 mm, ou seja, apresentou uma variabilidade espacial elevada, provavelmente os locais de menores valores de precipitações acumuladas sofreram prejuízos na produtividade. Torna-se um importante indicativo para o planejamento das posteriores safras, como por exemplo, optar por culturas mais resistentes a precipitações mais baixas nos locais de menores precipitações.

#### 4.4 Produtividade

Analisando os mapas com dados de solo e pluviometria interpolados das áreas de algodão e feijão, culturas de estudo desse trabalho, o lote OR9 com cultura de algodão obteve produtividade baixa (64,63 @/ha) em relação aos outros lotes com a mesma cultura, já a cultura do feijão obteve uma produtividade com baixa variabilidade produtiva entre os lotes (TABELA 10).

Tabela 10 – Dados de produtividade da fazenda Orquídeas, safra 20/21, das culturas do Feijão e Algodão.

Cultura	Lote	Área (ha)	PM (sacas/ha)	PM (@/ha)	MFC
Feijão	OR1	425,61	21,73	-	jun/21
	OR2	161	19,98	-	jun/21
	OR3	195	25,14	-	jun/21
Algodão	OR2	207,95	-	301,74	jul/21
	OR3	148,38	-	325,82	ago/21
	OR4	513,14	-	294,84	jun/21
	OR5	663,78	-	345,76	jul/21
	OR7	520,21	-	318,98	jun/21
	OR8	608,26	-	354,78	jul/21
	OR9	445,05	-	64,63	set/21

Fonte: Do autor

Sabendo que as variáveis climáticas interferem diretamente no crescimento e desenvolvimento do algodão (BENDER, 2020). A baixa produtividade da cultura no lote OR9 pode ser justificada pela variabilidade de precipitação acumulada do lote (687 a 1.000 mm),

somado á infestação por praga nematoide identificados nas imagens 360° e análises in loco. A soma dos fatores de variação da precipitação acumulada nos lotes de feijão (1.180 a 1330 mm) com o manejo eficiente de pragas, doenças e população de plantas elevadas (amostrado com dados in situ e imagens 360° para o lote OR2), são fatores que pode ter influenciado a baixa variação de produtividade entre os lotes de feijão.

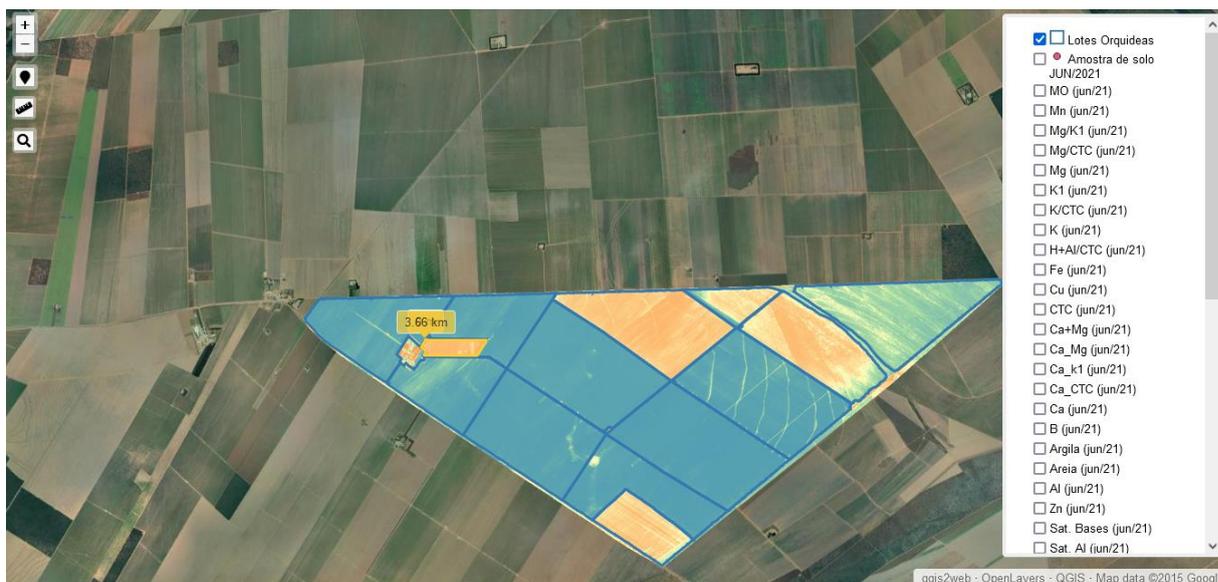
#### **4.5 Plataforma de monitoramento de agrícola**

A plataforma constitui na junção do máximo de informações em um único lugar, para o monitoramento e o histórico de safras, para isso foi desenvolvido uma metodologia que concentra os dados pluviométricos, os dados de solo, os dados de monitoramento agrícola e dados de produção em uma única plataforma georeferenciada, utilizando o google forms para coleta de dados, um ARP de baixo custo e um software de processamento de dados gratuito QGIS 3.4.14.

A partir do estudo realizado em campo, para a coleta de dados de monitoramento da produção agrícola em campo, desenvolveu um modelo de questionário online, para que técnicos de campo possam realizar a coleta das informações com acurácia e eficácia e facilidade na extração e processamento desses dados. Vale ressaltar que o questionário é adaptável para cada fazenda, de acordo com as necessidades de informações do gestor de produção (FIGURA X).

Após a metodologia de coleta de dados desenvolvida, foi desenvolvida a metodologia de construção da plataforma que utiliza a função “qgis2web” do software de licença gratuita QGIS 3.4.14, onde uni os dados georeferenciados com a biblioteca JavaScript OpenLayers em uma plataforma HTML, que pode ser utilizada em servidores físicos ou virtuais, dependendo da necessidade do usuário (FIGURA 16).

Figura 16 – Layout da plataforma desenvolvida.



Fonte: do autor.

Vale ressaltar que o aplicativo, quando colocado em servidor virtual, pode ser acessado pelo navegador do smartphone, sem a necessidade de instalação de aplicativos.

A plataforma de realidade virtual se aproxima dos conceitos de SHERMAN e CRAIG (2003) que define quatro elementos chaves da experiência de um sistema de realidade virtual, o mundo virtual, a imersão, o estímulo sensorial e a interatividade.

## 5 CONCLUSÃO

A utilização da plataforma de monitoramento agrícola, utilizando produtos gerados a partir de drones, satélites e dados de campo se mostrou uma alternativa para uma solução de controle, gestão e rastreabilidade de culturas, com baixo custo de implementação e fácil utilização.

Apesar de não apresentar um resultado característico em monitorar pragas e doenças com as imagens 360° com ARP's, o monitoramento in loco incorpora resultados confiáveis para tomadas de decisões. Com isso, os métodos de monitoramento de pragas e doenças torna-se um complemento, não sendo substituível.

Vale ressaltar que acrescentar dados interpolados de solo e de pluviometria enriqueceu a plataforma de informações necessárias para uma acurácia nas tomadas de decisões e facilidade na busca dessas informações.

Comparando os resultados com a produtividade das culturas do feijão e algodão da fazenda, pode-se visualizar a importância da ferramenta desenvolvida nesse trabalho.

Visando a importância da plataforma no monitoramento agrícola, para futuros trabalhos recomenda-se a automação da plataforma, incrementação de informações de máquinas e implementos agrícola e de relatórios práticos, para isso, pode-se utilizar linguagens de programação em python, java script e R.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R. G. et al. Uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) como plataforma para monitoramento da produção agropecuária: estudo de caso para o milho forrageiro. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, **Embrapa Gado de Leite**, 20 p., Brasília, 2019.
- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonsalves, J.L de M.; Sparovek, G. 2013. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, 22: 711-728.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO. **Algodão no Brasil**. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/algodao-no-brasil.aspx>. Acesso em: 09 de set 2021.
- BABOSA, R. F.; QUINTELA, E. D.; OLIVEIRA, L. F. C. Manejo integrado de pragas do feijoeiro-comum. **CIRCULAR TÉCNICA 93 - EMBRAPA**, Santo Antônio de Goiás, ed. 1, ISSN 1678 - 9636, mai/2021.
- BENDER, E. P. et al. Modelagem do crescimento e produtividade do algodão em cultivo comercial no cerrado baiano. **Nativa**, Sinop, v. 8, n. 3, p. 403-412, jun/2020. Disponível em: <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i3.10029>. Acesso em: 03 de set de 2021.
- BLAINSKI, E. AGROCONNECT - PLATAFORMA DIGITAL PARA A DIFUSÃO DE INFORMAÇÕES NA AGRICULTURA. **Levando conhecimento e tecnologia para a fruticultura**, anais XVI Enfrute, V. 1, Fraiburgo, 2019.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agricultura de Precisão**. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. Brasília, 36 p., 2013.
- DIAS, G. P. **UM SISTEMA DE REALIDADE VIRTUAL PARA APOIO AO ENSINO DE CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS**. 2021. Dissertação (Mestrado em Informática) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.
- FERREIRA, A. B. F., MATRICARDI E. A. T., ÂNGELO, H. **Impactos da expansão agrícola na vegetação do cerrado e recursos hídricos no Oeste da Bahia até 2015**. Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto –SBSR, Santos, 2017.
- FILHO, F. R. F. et al. Coleção ativa de germoplasma de feijão-caupi( *Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e de outras espécies do gênero *Vigna*, da Embrapa Meio-Norte, no período de 1976 a 2003. **DOCUMENTOS 209 - EMBRAPA**, Teresina, ed. 21, ISSN 0104 - 866X, dez/2011.
- FURTADO, G. F. et al. AS GEOTECNOLOGIAS E O AGRONEGÓCIO BRASILEIRO: UM ESTUDO DE CASO NA PRODUÇÃO DE SOJA. **REBAGRO – Revista Brasileira de Agrotecnologia**, Garanhuns, v. 10, n. 3, p. 88-96, 2020. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/REBAGRO/index>. Acesso em: 03 de set de 2021.
- MOURA, J. Z. et al. ESCALA DE DESENVOLVIMENTO FENOLÓGICO E EXIGÊNCIA TÉRMICA ASSOCIADA A GRAUS-DIA DO FEIJÃO-CAUPI. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 3, p. 66 – 71, set/2012. Disponível em: <http://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/sistema>. Acesso em : 03 de set 2021.

PESSI, D. D. et al. Aeronaves remotamente pilotadas e suas aplicações no manejo agrícola e ambiental. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.37, n. 2, 2020. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/26605>. Acesso em: 13 de set de 2021.

PICANÇO, M. C. **MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS**. 2010. Dissertação – Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Biologia Animal, Viçosa, 2010.

PREZOTTI, L. C. GUARÇONI, A. M. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Incaper. Vitória, 104 p., 2013.

REGHINI, F. L., CAVICHIOLI, A. F. UTILIZAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO NA AGRICULTURA DE PRECISÃO. **Interface Tecnológica**, Taquaritinga, v. 17, n. 1, p. 329 – 339, 2020. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/750>. Acesso em: 09 de set de 2021

ROSA, H. A. **SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL E NÃO ORBITAL NO DELINEAMENTO DE ZONAS DE MANEJO PARA AGRICULTURA DE PRECISÃO**. 2021. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2021.

SANTOS, L. R. Z. **Identificação de fontes de resistência do feijão comum ao fitopatógeno *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary**. 2020. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade do Estado de Mato Grosso, Mato Grosso, 2020.

SHERMAN, W. R.; CRAIG, A. B. **Understanding Virtual Reality: Interface, Application, And Design**. San Francisco: Morgan Kauffman, 2003.

SILVA, A. F. et al. O escoamento do algodão baiano e seus entraves logísticos : um estudo econômico e comparativo entre o porto de Santos x porto de Salvador. **Processando o Saber**, Praia Grande, v. 13, p. 170 – 185, jun/2021. Disponível em: <https://www.fatecpg.edu.br/revista/index.php/ps/article/download/170/145>. Acesso em : 31 de ago. 2021.

SOUZA, C. F. B. **Reação de cultivares de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) ao nematoide *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949 e eficiência de métodos de destruição de soqueira sobre fitonematoides do algodoeiro**. 2020. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

SOUZA, J. L. L.L. et al. Avaliação de métodos de interpolação aplicados à espacialização das chuvas no território identidade Portal do Sertão / Bahia. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**. Curitiba, p. 4295 – 4302, 2011.

TÔSTO, S. G. et al. Geotecnologias e Geoinformação: O produtor pergunta, a Embrapa responde. **Coleção - 500 perguntas - 500 respostas – EMBRAPA**. Brasília, 248 p., 2014.

YU, F. et al. The Research and Application of Virtual Reality (VR) Technology in Agriculture Science. **Springer**. pp.546-550, 2014. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/220828663\\_The\\_Research\\_and\\_Application\\_of\\_Virtual\\_Reality\\_VR\\_Technology\\_in\\_Agriculture\\_Science?enrichId=rgreq-](https://www.researchgate.net/publication/220828663_The_Research_and_Application_of_Virtual_Reality_VR_Technology_in_Agriculture_Science?enrichId=rgreq-)

e7e9c1d859fd11bfa6dc643ffe1a69f3-

XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzIyMDgyODY2MztBUzozNDIzMzczMDI2MTQw  
MjRAMTQ1ODYzMDk4MTczMA%3D%3D&el=1\_x\_2&\_esc=publicationCoverPdf