INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS CERES
BACHARELADO EM AGRONOMIA
MATHEUS AUGUSTO VIEIRA GOMES

UTILIZAÇÃO DE DRONE DE BAIXO CUSTO PARA DETERMINAÇÃO DE FALHAS DE PLANTIO EM CANA-DE-AÇÚCAR

CERES – GO
2025

MATHEUS AUGUSTO VIEIRA GOMES

UTILIZAÇÃO DE DRONE DE BAIXO CUSTO PARA DETERMINAÇÃO DE FALHAS DE PLANTIO EM CANA-DE-AÇÚCAR

Trabalho de curso apresentado ao curso de Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia, sob orientação do Prof. Dr. Ariel Muncio Compagnon.

CERES – GO
2025

Gomes, Matheus Augusto Vieira
G633u Utilização de drone de baixo custo para determinação de falhas de plantio em cana-de-açúcar / Matheus Augusto Vieira Gomes. Ceres 2025.

15f. il.

Orientador: Prof. Dr. Ariel Muncio Compagnon.
Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0320021 - Bacharelado em Agronomia - Ceres (Campus Ceres).
1. Geoprocessamento. 2. Ortomosaico. 3. Saccharum officinarum. I. Título.

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

[ ] Tese
[ ] Dissertação
[ ] Monografia – Especialização
[X] TCC - Graduação
[ ] Artigo Científico
[ ] Capítulo de Livro
[ ] Livro
[ ] Trabalho Apresentado em Evento
[ ] Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____

Nome Completo do Autor: Matheus Augusto Vieira Gomes
Matrícula: 2021103200240022
Título do Trabalho: Utilização de drone de baixo custo para determinação de falhas de plantio em cana-de-açúcar

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: [X] Não [ ] Sim, justifique:
Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano:
O documento está sujeito a registro de patente? [ ] Sim [X] Não
O documento pode vir a ser publicado como livro? [ ] Sim [X] Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

1. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
2. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
3. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Ceres, 26 de agosto de 2025.

Assinatura eletrônica do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura eletrônica do orientador

Documento assinado eletronicamente por:

- **Ariel Muncio Compagnon**, **PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 26/08/2025 14:01:43.
- **Matheus Augusto Vieira Gomes**, **2021103200240022 - Discente**, em 27/08/2025 16:52:19.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 26/08/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/ e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 736700
Código de Autenticação: 67b633127d

INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Ceres
Rodovia GO-154, Km 03, SN, Zona Rural, CERES / GO, CEP 76300-000
(62) 3307-7100

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

FOLHA DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CURSO (TC) - BACHARELADO EM AGRONOMIA - CAMPUS CERES

O Trabalho de curso "Utilização de drone de baixo custo para determinação de falhas de plantio em cana-de-açúcar" do estudante Matheus Augusto Vieira Gomes, sob orientação do Prof. Dr. Ariel Muncio Compagnon, foi APROVADO e dispensado de defesa (apresentação oral), conforme artigo 17, parágrafo IX, das NORMAS DE TRABALHO DE CURSO DOS CURSOS DE GRADUAÇÃO DO CAMPUS CERES DO IF GOIANO.

Ceres - GO, 26/8/2025.

(Assinado Eletronicamente)
Prof. Dr. Ariel Muncio Compagnon
Coordenador de Trabalho de Curso de Agronomia - Portaria de 08/02/2017

(Assinado Eletronicamente)
Profª. Drª. Luciana Borges e Silva
Coordenadora do Curso de Agronomia - Portaria nº 3.504 de 25/08/2022

Documento assinado eletronicamente por:
- **Ariel Muncio Compagnon**, **PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 26/08/2025 13:43:36.
- **Luciana Borges e Silva**, **COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC0001 - CCBA-CE** , em 27/08/2025 11:14:25.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 26/08/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/ e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 736690
Código de Autenticação: bc22ad73b0

INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Ceres
Rodovia GO-154, Km 03, SN, Zona Rural, CERES / GO, CEP 76300-000
(62) 3307-7100

Aos meus pais, Antônio Gomes de Abadia Neto e Marilda Vieira da Costa Gomes, irmã, Mayara Vieira Gomes, cunhado, João Paulo Moreira Fonseca, namorada, Beatriz Dantas Pereira da Silva.

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudos.

À minha família, em especial em nome dos meus pais, Antônio Gomes de Abadia Neto e Marilda Vieira da Costa Gomes, minha irmã, Mayara Vieira Moreira Gomes, meu cunhado, João Paulo Moreira Fonseca, meu padrinho, Francelino Vieira da Costa, minha tia, Eunice Cavalcante da Costa, minhas primas e primos, Janaina Cavalcante da Costa Lopes, Gabrielly Costa Lopes, Geovanna Costa Lopes, Wilkson Lopes Flor e ao restante dos familiares e amigos por todo apoio e incentivo nesta minha jornada.

À minha namorada Beatriz Dantas, pela ajuda e apoio na minha formação como um todo.

Ao Instituto Federal Goiano Campus Ceres pelas condições dadas para a formação profissional (Engenheiro Agrônomo) e pessoal, principalmente por todos os valores adquiridos.

O presente trabalho foi realizado com apoio do PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/IFGOIANO).

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ariel Muncio Compagon, que tenho grande admiração e consideração pelo seu trabalho. Por sua confiança e pela oportunidade de poder trabalhar com algo novo.

Aos meus amigos e parceiros Aleksander Samuel Fidelis Pereira, Gabriel Batista Sousa, Luiz Enrick Rocha de Lima, Thiago do Nascimento Borges Marques, Washington Nunes da Silva e Rangell Martins Gontijo. Estendo os agradecimentos a todos Professores e Funcionários do Instituto Federal Goiano Campus Ceres.

Por fim, expresso meus agradecimentos a todos que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização e conclusão deste trabalho. Recebam minha mais sincera gratidão.

Essa realização também pertence a cada um de vocês!

“A persistência é o caminho do êxito”.

Charles Chaplin

RESUMO

Um dos fatores que impactam a produção da cana-de-açúcar são as falhas de plantio. O trabalho teve como objetivo identificar e mapear falhas de plantio de cana-de-açúcar por meio de imagens capturadas por drone de baixo custo equipado com câmera RGB, e determinar a melhor altura de plantas para identificação dessas falhas. O experimento foi conduzido no município de Ceres - GO. A área experimental foi de 4,75 ha com a cv. SP 80-1816, plantada em espaçamento de 1,5 m entrelinhas. As imagens foram coletas pelo drone DJI Mavic Mini e medições de falhas e altura de plantas foram realizadas aos 30, 60 e 90 dias após plantio (DAP). Foram coletados 4 comprimentos de falhas: 0,5 a 1,0 m; 1,0 a 1,5 m; 1,5 a 2,0 m, e acima de 2,0 m, em 10 repetições, de forma manual na área, para comparação com as imagens aéreas. Realizou-se o processamento e geração do ortomosaico. Para identificar falhas nas imagens e comparar os dados coletados à campo com trena, utilizou-se o programa computacional QGIS. A altura de sobrevoo e fase de desenvolvimento da cultura no mapeamento de falhas em canaviais têm interação na precisão da estimativa de falhas em comparação com observações de campo. Os resultados indicaram que a qualidade do mapeamento é influenciada pelo desenvolvimento da cultura e pelo momento adequado para a captura das imagens. Mapear falhas em plantas com até 0,5 m de altura, que corresponde aos 60 DAP, reduz erros. A precisão diminui com falhas menores, quando se passou dos 60 DAP, sendo uma limitação do estudo no mapeamento de falhas de 0,5 m.

Palavras-chave: Geoprocessamento; Ortomosaico; *Saccharum officinarum.*

ABSTRACT

One of the factors that impact sugarcane production is planting failures. The study aimed to identify and map sugarcane planting failures through images captured by a low-cost drone equipped with an RGB camera, and to determine the best plant height to identify these failures. The experiment was conducted in the municipality of Ceres - GO. The experimental area was 4.75 ha with cv. SP 80-1816, planted with a spacing of 1.5 m between rows. The images were collected by the DJI Mavic Mini drone and measurements of failures and plant height were taken at 30, 60 and 90 days after planting (DAP). Four failure lengths were collected: 0.5 to 1.0 m; 1.0 to 1.5 m; 1.5 to 2.0 m, and above 2.0 m, in 10 replicates, manually in the area, for comparison with the aerial images. The orthomosaic was processed and generated. The QGIS software program was used to identify flaws in the images and compare the data collected in the field with a tape measure. The flight height and crop development stage in mapping flaws in sugarcane fields interact with the accuracy of the flaw estimate compared to field observations. The results indicated that the quality of the mapping is influenced by the crop development and the appropriate time to capture the images. Mapping flaws in plants up to 0.5 m in height, which corresponds to 60 DAP, reduces errors. The accuracy decreases with smaller flaws when exceeding 60 DAP, which is a limitation of the study in the mapping of 0.5 m flaws.

Keywords: Geoprocessing; Orthomosaic; *Saccharum officinarum*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Exemplo de medida realizada de forma manual pelo programa computacional QGIS da área de estudo com 30 dias após plantio (DAP). Ponto 17, com intervalo de falha de 1,0 a 1,5 m. 7

Figura 2. Medida realizada de forma manual pelo programa computacional QGIS da área de estudo com 60 dias após plantio (DAP). Ponto 15, com intervalo de falha de 1,0 a 1,5 m.....7

Figura 3. Medida realizada de forma manual pelo programa computacional QGIS da área de estudo com 90 dias após plantio (DAP). Ponto 4, com intervalo de falha de 0,5 a 1,0 m.....8

Figura 4. Medida de falha de forma automática realizada pelo programa, na área de estudo, com 30 dias após plantio. Ponto 39, com intervalo de falha maior que 2,5 m. 10

Figura 5. Medida de falha de forma automática realizada pelo programa, na área de estudo, com 60 dias após plantio. Ponto 29, com intervalo de falha de 1,5 a 2,0 m. 11

Figura 6. Medida de falha de forma automática realizada pelo programa, na área de estudo, com 90 dias após plantio. Ponto 10, com intervalo de falha de 0,5 a 1,0 m. 12

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Altura média de plantas e coeficiente de variação aos 30, 60 e 90 DAP. 5

Tabela 2. Média da medida real no campo, medida no programa manualmente e medida no programa automático em diferentes comprimentos de falhas e dias após plantio, na cultura da cana-de-açúcar.....9

Tabela 3. Quantidade total de falhas realizada de forma automática na área do estudo, em função dos intervalos de comprimentos de falhas e dias após plantio, na cultura da cana-de-açúcar. 13

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO **2**
MATERIAL E MÉTODOS **3**
RESULTADOS E DISCUSSÃO **5**
CONCLUSÕES **13**
REFERÊNCIAS **14**

UTILIZAÇÃO DE DRONE DE BAIXO CUSTO PARA DETERMINAÇÃO DE FALHAS DE PLANTIO EM CANA-DE-AÇÚCAR

USE OF LOW-COST DRONE TO DETERMINE PLANTING FAILURE IN SUGARCANE

MATHEUS AUGUSTO VIEIRA GOMES

Bacharelado em Agronomia, Instituto Federal Goiano - Campus Ceres

matheusavg97@gmail.com

ARIEL MUNCIO COMPAGNON

Professor Doutor, Instituto Federal Goiano - Campus Ceres

ariel.compagnon@ifgoiano.edu.br

Resumo: Um dos fatores que impactam a produção da cana-de-açúcar são as falhas de plantio. O trabalho teve como objetivo identificar e mapear falhas de plantio de cana-de-açúcar por meio de imagens capturadas por drone de baixo custo equipado com câmera RGB, e determinar a melhor altura de plantas para identificação dessas falhas. O experimento foi conduzido no município de Ceres - GO. A área experimental foi de 4,75 ha com a cv. SP 80-1816, plantada em espaçamento de 1,5 m entrelinhas. As imagens foram coletas pelo drone DJI Mavic Mini e medições de falhas e altura de plantas foram realizadas aos 30, 60 e 90 dias após plantio (DAP). Foram coletados 4 comprimentos de falhas: 0,5 a 1,0 m; 1,0 a 1,5 m; 1,5 a 2,0 m, e acima de 2,0 m, em 10 repetições, de forma manual na área, para comparação com as imagens aéreas. Realizou-se o processamento e geração do ortomosaico. Para identificar falhas nas imagens e comparar os dados coletados à campo com trena, utilizou-se o programa computacional QGIS. A altura de sobrevoo e fase de desenvolvimento da cultura no mapeamento de falhas em canaviais têm interação na precisão da estimativa de falhas em comparação com observações de campo. Os resultados indicaram que a qualidade do mapeamento é influenciada pelo desenvolvimento da cultura e pelo momento adequado para a captura das imagens. Mapear falhas em plantas com até 0,5 m de altura, que corresponde aos 60 DAP, reduz erros. A precisão diminui com falhas menores, quando se passou dos 60 DAP, sendo uma limitação do estudo no mapeamento de falhas de 0,5 m.
Palavras-chave: Geoprocessamento; Ortomosaico; *Saccharum officinarum.*

Abstract: One of the factors that impact sugarcane production is planting failures. The study aimed to identify and map sugarcane planting failures through images captured by a low-cost drone equipped with an RGB camera, and to determine the best plant height to identify these failures. The experiment was conducted in the municipality of Ceres - GO. The experimental area was 4.75 ha with cv. SP 80-1816, planted with a spacing of 1.5 m between rows. The images were collected by the DJI Mavic Mini drone and measurements of failures and plant height were taken at 30, 60 and 90 days after planting (DAP). Four failure lengths were collected: 0.5 to 1.0 m; 1.0 to 1.5 m; 1.5 to 2.0 m, and above 2.0 m, in 10 replicates, manually in the area, for comparison with the aerial images. The orthomosaic was processed and generated. The QGIS software program was used to identify flaws in the images and compare the data collected in the field with a tape measure. The flight height and crop development stage in mapping flaws in sugarcane fields interact with the accuracy of the flaw estimate compared to field observations. The results indicated that the quality of the mapping is influenced by the crop development and the appropriate time to capture the images. Mapping flaws in plants up to 0.5 m in height, which corresponds to 60 DAP, reduces errors. The accuracy decreases with smaller flaws when exceeding 60 DAP, which is a limitation of the study in the mapping of 0.5 m flaws.
Keywords: Geoprocessing; Orthomosaic; *Saccharum officinarum*.

Introdução

A cana-de-açúcar é classificada botanicamente como pertencente à família Poaceae, subfamília Panicoideae, tribo Andropogoneae e gênero *Saccharum* L. (ALMEIDA JÚNIOR et al., 2022). Essa cultura passa por fundamentalmente quatro fases de desenvolvimento vegetativo, denominadas brotação e emergência, perfilhamento, crescimento dos colmos e maturação (LAL, 2021).

O Brasil, na safra 2023/24, estabeleceu sua colocação como o maior produtor do mundo de cana-de-açúcar, atingindo a marca de 713,2 milhões de toneladas. Essa quantidade resultou na produção de 45,7 milhões de toneladas de açúcar e 35,6 bilhões de litros de etanol (CONAB, 2024).

Um aspecto de importância, diretamente vinculado à produtividade da cana-de-açúcar, é o processo de plantio. Quando conduzido de maneira inadequada, pode resultar em falhas, impactando negativamente na produtividade e nos lucros (DOHA et al., 2021). Durante os cortes da cana-de-açúcar, a intensidade e o tamanho das falhas tendem a crescer devido à colheita mecânica, presença de pragas e outros fatores. O monitoramento das falhas é um parâmetro crucial que auxilia na tomada de decisão quanto à necessidade de reforma da lavoura (MOLIN; VEIGA, 2016).

Proposto por Stolf et al. (2016), o método de avaliação de falhas, desenvolvido na década de 1980 e implementado nos anos 1990, envolve a obtenção da relação de falhas e uma estimativa das perdas de produtividade na cultura da cana-de-açúcar. Esse método convencional terrestre é amplamente empregado em várias empresas sucroenergéticas, utilizando trena métrica para avaliação em lavouras de cana-de-açúcar (STOLF et al., 2016).

Na avaliação quantitativa de falhas de plantio, o método manual se mostra mais laborioso, demandando considerável tempo para a obtenção dos resultados e, assim, aumentando os custos do processo. A proposta de utilizar drones reside precisamente na aplicação da tecnologia, que de forma mais eficaz, rápida e simplificada, pode proporcionar os mesmos resultados, eliminando a dependência de mão de obra. Dessa maneira, esse método se revela econômico e eficiente (BARROS, 2018).

Os dados provenientes do sensoriamento remoto passam por um processo de análise nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Essas ferramentas computacionais do geoprocessamento possibilitam a captura, armazenamento, edição, consulta e análise de dados espaciais georreferenciados. Essa abordagem permite a interconexão entre diferentes bases de

dados, facilitando também a modelagem espaço temporal (CORRÊA, 2020). A busca pela agricultura sustentável tem conduzido a aprimoramentos na eficiência do uso de recursos e insumos. A agricultura de precisão (AP) figura como uma ferramenta essencial, auxiliando os produtores na tomada de decisões mais precisas e eficientes, promovendo, assim, o manejo sustentável das lavouras (ARANTES et al., 2019).

Segundo Gomes et al. (2019), os drones registram imagens aéreas da plantação, as quais são posteriormente analisadas. Essa análise possibilita uma visualização da lavoura sob uma perspectiva distinta, facilitando a identificação de problemas que anteriormente seriam mais desafiadores de detectar.

Maldaner et al. (2021) propuseram uma metodologia para obtenção de imagens da plantação de cana-de-açúcar realizada por meio de uma Aeronave Remotamente Pilotada (RPA), e a segmentação é efetuada utilizando um *plugin* para classificação semiautomática disponível no programa computacional QGIS.

O trabalho de Luna e Lobo (2016), utilizando imagens aéreas adquiridas por uma aeronave remotamente pilotada (RPA), avalia as falhas em plantações de cana-de-açúcar. As imagens são tratadas para produzir um ortomosaico, que é categorizado e dividido em uma grade. Cada célula da grade é examinada para determinar o nível de solo exposto, detectando erros na plantação de cana-de-açúcar.

Diante disso, o trabalho teve como objetivo identificar e mapear falhas de plantio de cana-de-açúcar por meio de imagens capturadas por drone de baixo custo equipado com câmera RGB e determinar a melhor altura de plantas para identificação dessas falhas.

Material e Métodos

O trabalho foi conduzido em área de produção industrial de cana-de-açúcar na Fazenda Anta Branca Segunda, no município de Ceres - GO (15°20'34,18" S e 49°37'2,12" O). O clima local se caracteriza como do tipo Aw de acordo com a classificação de Köppen Geiger é do tipo Aw, quente e semiúmido, com estação seca bem definida de maio a setembro, e estação chuvosa de outubro a abril (CARDOSO et al., 2014). A temperatura média máxima de aproximadamente 26 ºC, e precipitação média anual chega aos 1.500 mm.

A área experimental é constituída de 4,75 ha com cana-de-açúcar cv. SP 80-1816, plantada em espaçamento de 1,5 m de distância entrelinhas. As imagens capturadas pelo drone e medições de falhas e altura de planta da cultura foram adquiridas quando a cana-de-açúcar

entrou na fase de brotação e perfilhamento, 30 dias após plantio, sendo compreendido no dia 25 de setembro de 2023. As demais coletas ocorreram aos 60 dias, sendo realizado no dia 25 de outubro de 2023, e aos 90 dias, sendo realizado no dia 25 novembro de 2023, para determinar o melhor momento de obtenção dos resultados.

Na etapa de coleta de dados, foram mensuradas com trena a altura das plantas da cultura de cada extremidade da falha, sendo medidas 80 alturas para cada fase, totalizando 240 medições. Foram mensurados com trena 4 intervalos de comprimentos de falha: 0,5 a 1,0 m; 1,0 a 1,5 m; 1,5 a 2,0 m, e acima de 2,0 m, sendo mensurada 40 comprimentos de falhas por fase, com um total de 120 comprimentos de falhas. A metodologia utilizada foi conforme a proposta por Stolf et al. (2016), sendo cada comprimento de falha replicado aleatoriamente 10 vezes na área (10 repetições). Na confecção das falhas de forma manual, foram desconsideradas 4 linhas das extremidades de cana-de-açúcar e a distância de 50 m de comprimento do início da linha para se obter as linhas desejadas para amostragem.

Para a identificação das falhas por meio de imagens aéreas, foram distribuídos gabaritos com 1,10 m de comprimento por 0,55 m de largura de tecido não tecido (TNT) sobre o solo, para servir como alvos de identificação, posicionados ao lado esquerdo de cada falha da linha da cultura medida anteriormente de forma manual, conforme metodologia de Barbosa Júnior (2022).

O mapeamento e levantamento de dados da área foi realizado utilizando drone de baixo custo, modelo mavic mini, da DJI, equipado com receptor GNSS (Sistema Global de Navegação por Satélite), o que tende a ter precisão vertical de 0,5 m e horizontal de 1,5 m na obtenção das coordenadas geográficas durante a obtenção das imagens. Os sobrevoos foram realizados entre os horários de 11h e 13h30. Os sobrevoos e definições de exposição e foco foram configuradas de forma automática no aplicativo de plano de voo (Copterus para Iphone). O drone é acoplado com um sensor RGB e câmera estabilizada por um gimbal de 3 eixos com 12 megapixels de resolução espacial. As imagens foram armazenadas em cartão de memória e exportadas posteriormente após o sobrevoo para o computador.

As imagens foram capturadas com sobreposição frontal de 75% e sobreposição lateral de 75%. Os sobrevoos foram realizados com aproximadamente 50 m de altura, o que gerou um GSD (distância de amostra do solo), ou seja, tamanho do *pixel* do ortomosaico de 0,02 x 0,02 m.

Após a obtenção das imagens, realizou-se o processamento para geração do ortomosaico, no programa computacional WebODM (OpenDroneMap). Para a identificação

das falhas nas imagens e comparação com os dados coletados à campo com trena, utilizou-se o programa computacional Quantum GIS (QGIS).

As linhas de plantio foram reconstruídas manualmente, gerando uma nova camada *shapefile* para quantificar dados de plantio. A binarização das imagens separou plantas cultivadas do solo exposto, usando o índice de vegetação Green Leaf Index (GLI) calculado a partir das bandas RGB. Uma nova camada *shapefile* foi criada para a classificação, e a análise comparou o índice GLI com amostras de referência, resultando em uma camada binarizada entre cultura e solo.

A reclassificação utilizou o complemento *dzetsaka: classification tool* para gerar uma camada *raster*, identificando plantas nas linhas de plantio e transformando-a em uma camada vetorizada. O algoritmo identificou trechos com e sem cana-de-açúcar, gerando um mapa de falhas. As feições de falhas foram organizadas, removendo falhas menores que 0,5 m. Os comprimentos de falhas foram classificados (intervalos de 0,5 a 1,0 m; 1,0 a 1,5 m; 1,5 a 2,0 m, e acima de 2,0 m), permitindo a comparação com outras metodologias. O produto final foi um conjunto de mapas de falhas no plantio de cana-de-açúcar.

Resultados e discussão

O propósito deste estudo foi analisar a habilidade do drone em detectar e quantificar falhas no cultivo de cana-de-açúcar, avaliando sua viabilidade econômica. A agilidade e rapidez do drone facilita o uso e obtém maior acurácia na detecção de falhas, superando técnicas tradicionais, como a verificação presencial com o auxílio de trenas. Devido ao desenvolvimento rápido da cultura, a altura das plantas (Tabela 1) aumentou rapidamente de 0,25 m aos 30 DAP (dias após plantio) para 0,47 m aos 60 DAP, no entanto, o crescimento manteve em desenvolvimento e aos 90 DAP as plantas atingiram altura média de 0,57 m. Esse padrão de crescimento indica uma evolução positiva do desenvolvimento vegetativo, o que pode estar associado a fatores como condições ambientais favoráveis, manejo adequado e potencial genético das plantas.

Tabela 1. Altura média de plantas e coeficiente de variação aos 30, 60 e 90 DAP.

	30 DAP	**60 DAP**	**90 DAP**
Altura de plantas (m)	0,251	0,473	0,570
Coeficiente de variação (%)	37,11	33,27	36,40

DAP= dias após plantio. Fonte: Autores, 2024.

O coeficiente de variação foi relativamente elevado em todas as avaliações, esses índices indicam uma alta variabilidade nos dados de altura das plantas dentro do experimento. Essa variação pode ser atribuída a diferenças individuais entre as plantas, variações microambientais no local do plantio, ou até mesmo a fatores como uniformidade no processo de plantio e manejo. Apesar da redução do CV aos 60 DAP, indicando uma possível maior uniformidade entre as plantas neste período, o aumento aos 90 DAP sugere que a variabilidade voltou a crescer. Isso pode estar relacionado à competição entre as plantas ou à manifestação de diferenças genéticas e fisiológicas mais evidentes com o avançar do desenvolvimento.

Sendo assim, a fase de 30 e 60 DAP facilita a identificação da falha pelo drone, porém ao longo do desenvolvimento da cultura há grande redução e possibilidade de identificar falhas, pois a cultura está em fase de brotação e perfilhamento, onde novos perfilhos estão sendo desenvolvidos e o crescimento da área foliar aumenta gradativamente causando o sombreamento das falhas menores. Barbosa Júnior (2022) em seu trabalho relata que a altura das plantas é um dos fatores mais importantes na detecção de falhas, onde obteve resultados melhores com GSD (distância de amostra do solo) de 3,5 cm ou próximo, e plantas com altura inferior a 0,5 m.

Nas Figuras 1, 2 e 3 pode-se observar a diferença das medidas de 30, 60 e 90 DAP realizada no programa computacional QGIS em relação a medida realizada manual a campo. O programa obteve uma diferença de medida de 0,14 m ou -10,9% para 30 DAP, sendo uma medida maior em relação a medição a campo. Para 60 DAP houve uma diferença de 0,07 m ou 7,71% e 0,27 m ou 51,92% para 90 DAP, menor que a falha mensurada com trena a campo.

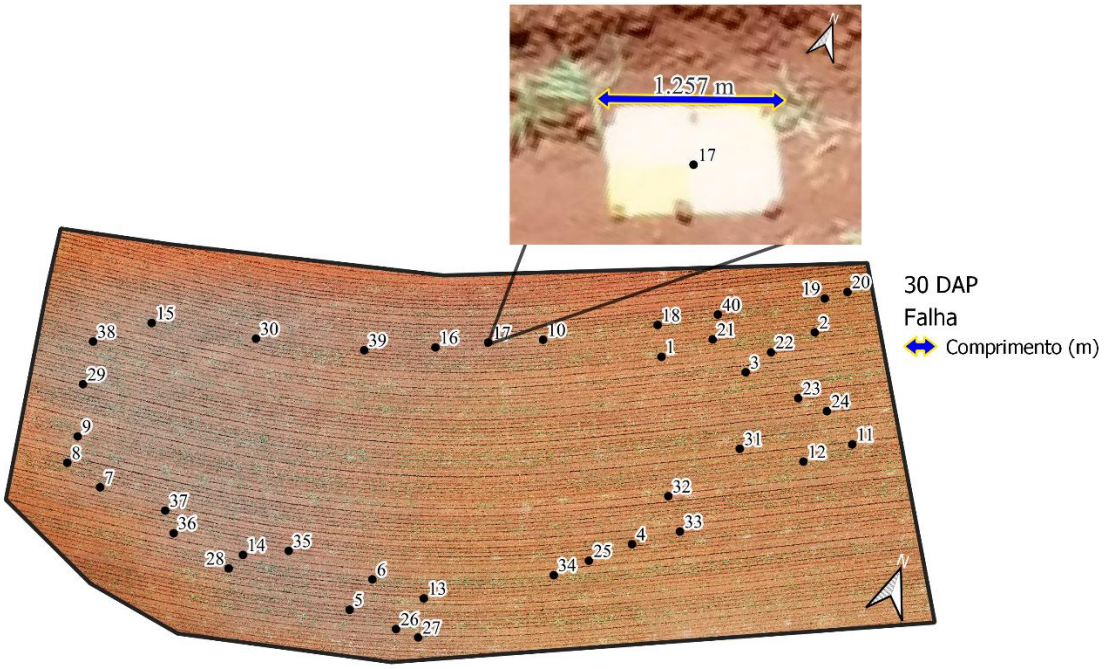

Figura 1. Exemplo de medida realizada de forma manual pelo programa computacional QGIS da área de estudo com 30 dias após plantio (DAP). Ponto 17, com intervalo de falha de 1,0 a 1,5 m. Fonte: Autores, 2024.

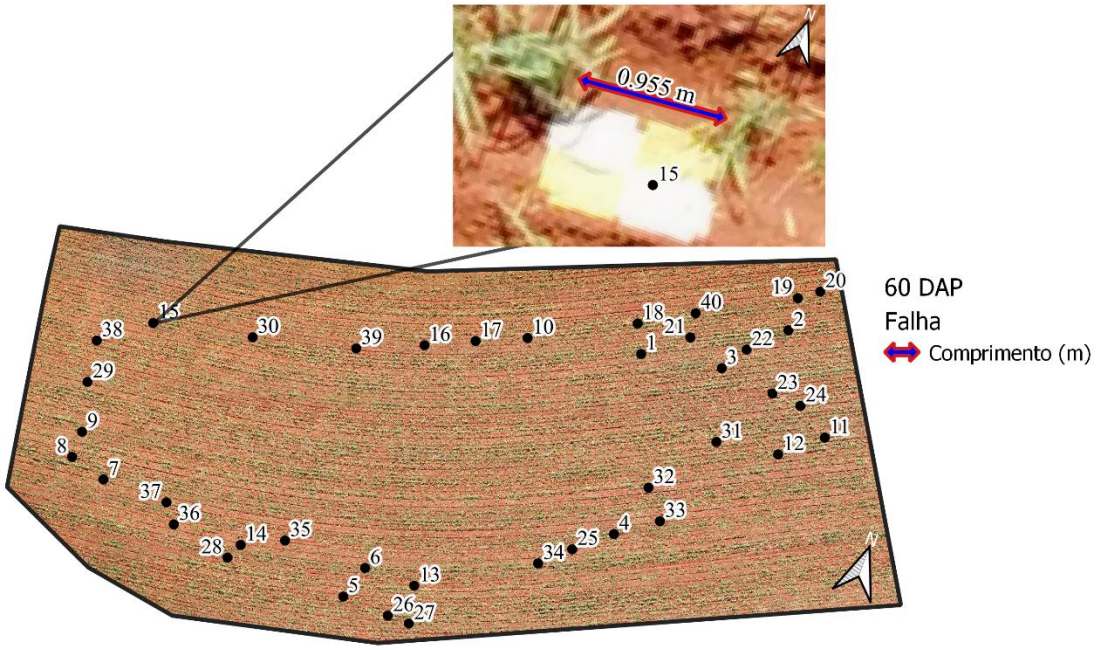

Figura 2. Medida realizada de forma manual pelo programa computacional QGIS da área de estudo com 60 dias após plantio (DAP). Ponto 15, com intervalo de falha de 1,0 a 1,5 m. Fonte: Autores, 2024.

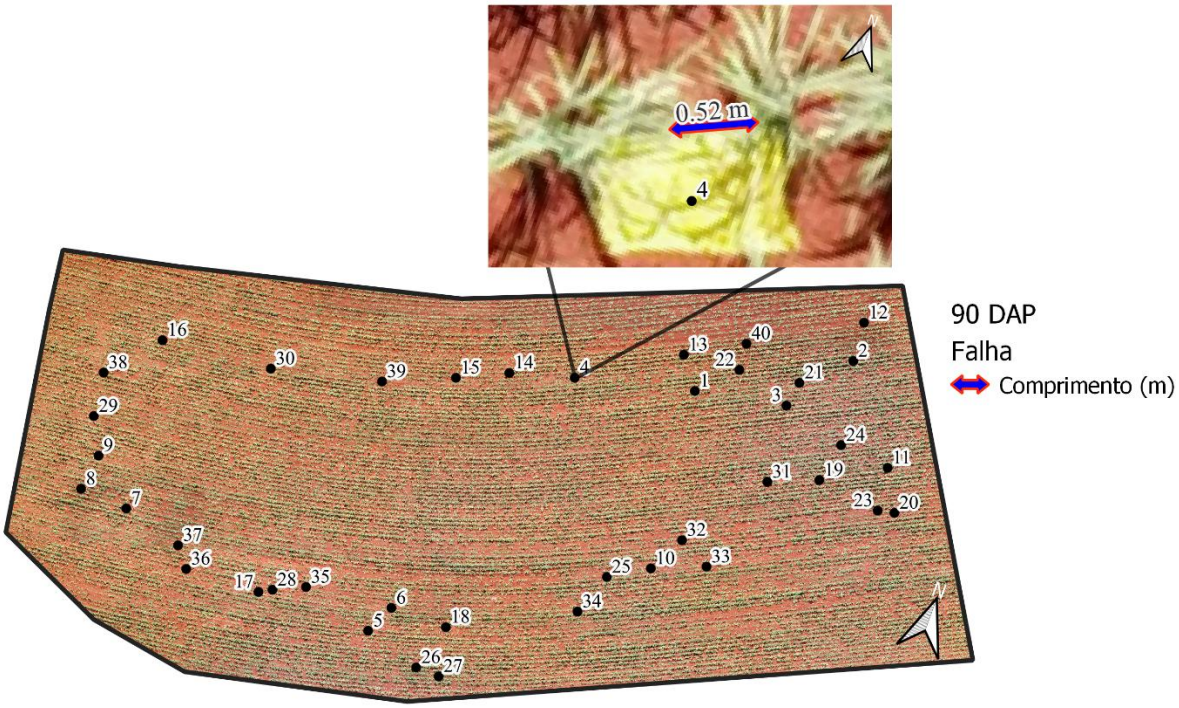

Figura 3. Medida realizada de forma manual pelo programa computacional QGIS da área de estudo com 90 dias após plantio (DAP). Ponto 4, com intervalo de falha de 0,5 a 1,0 m. Fonte: Autores, 2024.

Sendo assim, foi possível identificar e calcular pelos ortomosaicos os comprimentos de falhas em relação à altura de sobrevoo e fase de desenvolvimento da cultura. A identificação de falhas não manteve padrão, ou seja, a medida em que aumentou a altura das plantas, houve diminuição na precisão para estimativa das falhas, com isso a resolução da câmera do drone e a altura em que a imagem foi obtida são fatores cruciais para a captura de uma imagem que facilite a distinção das feições cana-de-açúcar e solo exposto em uma imagem aérea (JIN et al., 2017).

Analisando os intervalos de comprimentos de falhas de 0,5 a 1,0 m com 30 dias DAP (Tabela 2), houve uma pequena diferença entre a medida no campo real e a medida no programa feita de maneira manual, e uma diferença negativa entre a medida real no campo e realizada no programa de forma automática. Isso sugere que as medições manuais no QGIS tendem a ser mais próximas das medições reais de campo em comparação com a forma automática nesta fase inicial, porém de forma mais trabalhosa, o que inviabiliza a determinação das falhas na área total. Aos 60 e 90 DAP, as diferenças aumentam para as medidas de maneira manual e automática, no qual a medida de maneira automática começa a mostrar maior variação em relação ao comprimento de falha real a campo, à medida que a planta cresce.

Tabela 2. Média da medida real no campo, medida no programa manualmente e medida no programa automático em diferentes comprimentos de falhas e dias após plantio, na cultura da cana-de-açúcar.

Comprimento de falhas (m)	**MRC x MPM (%)**	**MRC x MPA (%)**	**MRC x MPM (%)**	**MRC x MPA (%)**	**MRC x MPM (%)**	**MRC x MPA (%)**
	30 DAP		60 DAP		90 DAP	
0,5 - 1,0	3,02	-5,89	18,60	23,39	18,10	31,93
1,0 - 1,5	0,39	9,85	11,69	27,27	14,99	40,98
1,5 - 2,0	-0,46	-16,06	12,46	51,59	8,00	70,23
> 2,5	4,50	84,52	8,42	21,62	10,59	22,58
Média	1,86	18,10	12,79	30,97	12,92	41,43

MCR= Medida no Campo real; MPM= Medida no programa manualmente; MPA= Medida no programa automático; DAP= Dias Após Plantio. Fonte: Autores, 2024.

Os comprimentos de falhas de 1,0 a 1,5 m com 30 DAP mostraram uma pequena diferença entre a medida real no campo e a no programa manualmente. Enquanto a diferença entre a medida real no campo e a medida no programa automático é positiva, mostrando uma leve tendência do programa de forma automática a superestimar nesta fase, aos 60 DAP as diferenças aumentam entre a medida real no campo e a medida no programa automático, indicando que ambos os métodos começam a divergir mais das medidas reais. Essa diferença continua a crescer aos 90 DAP, especialmente no método automático.

Conforme Tabela 2, para os comprimentos de falhas de 1,5 a 2,0 m com 30 DAP, houve uma pequena diferença negativa entre a medida real no campo e a no programa manualmente. Essa diferença negativa indica uma subestimação significativa pelo programa de forma automática. As diferenças aumentam para 60 e 90 DAP, mostrando novamente maior divergência do método automático.

Em falhas com mais de 2,0 m de comprimento aos 30 dias após o plantio (DAP), nota-se uma diferença entre as medições feitas manualmente e as feitas pelo programa de forma automática, sendo esta última significativamente mais extensa. Aos 60 e 90 DAP, a discrepância entre as medições manuais e automáticas reduz-se, sugerindo uma melhoria na precisão do programa com o passar do tempo. Assim, as medições feitas pelo programa de maneira automática exibem uma capacidade superior de detectar falhas mais extensas em relação às menores.

Entretanto, é improvável que todas as falhas sejam completamente visíveis, o que pode levar a subestimar ou superestimar falhas reais observadas em campo. Isso ocorre porque a

arquitetura da planta e a disposição de suas folhas podem cobrir parcial ou totalmente a área onde a falha está localizada, afetando especialmente as falhas de menor comprimento. Em estudo realizado por Rocha et al. (2022), avaliando falhas de 40 e 80 DAP, puderam observar que o método de medição das falhas na imagem encontra um percentual maior do que realmente existe, o que corrobora com os resultados encontrados no presente trabalho.

Além disso, erros maiores podem ocorrer na estimativa de falhas nas extremidades da área devido ao crescimento irregular da cana-de-açúcar. Erros como esse foram apresentados por Xu et al. (2020), destacando a influência das atividades humanas e o pisoteio por veículos.

As Figuras 4, 5 e 6 exibem a identificação automática de falhas no plantio da cana-de-açúcar em um ponto de amostragem, aos 30, 60 e 90 DAP. Assim, possibilitou-se a identificação dessas falhas ao longo do progresso cultural, permitindo observar a mudança na magnitude das falhas com o passar do tempo. Em relação a Figura 4, esta representa a medição automática de falha aos 30 DAP, mostrando uma falha com intervalo superior a 2,5 m no ponto 39, que obteve uma diferença de medida pelo programa de forma automática de -1,47 m (ou -35,94%), resultando em uma medida maior que a mensurada a campo. Isso está em conformidade com as informações da Tabela 3, que indicam um número considerável de falhas nesse intervalo, especialmente em intervalos de 0,5 a 1,0 m e acima de 2,5 m.

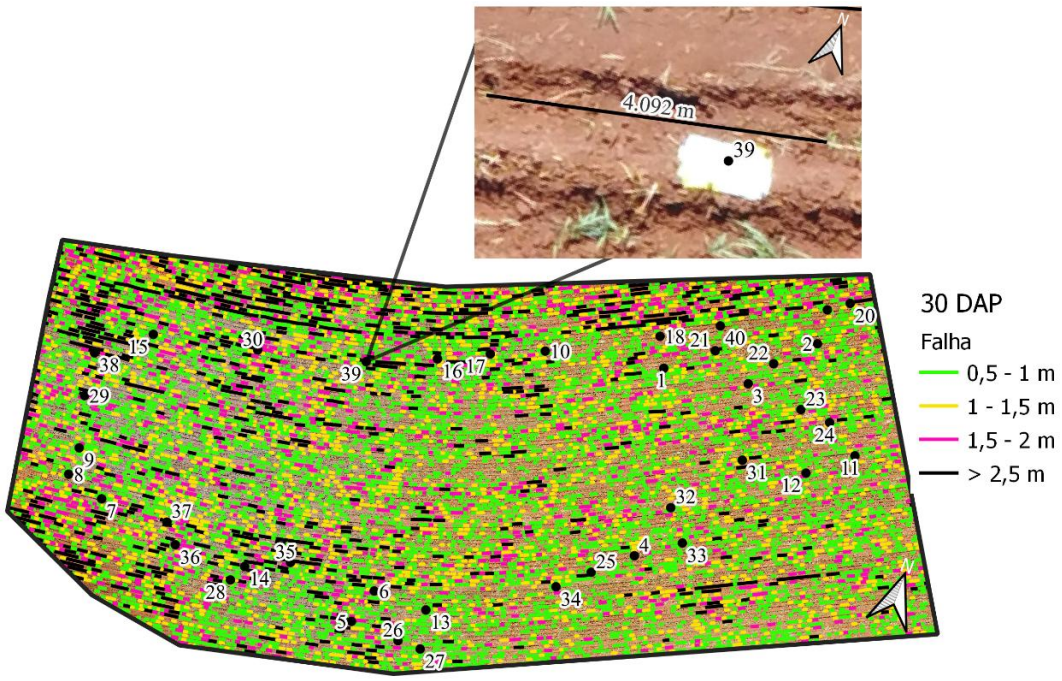

Figura 4. Medida de falha de forma automática realizada pelo programa, na área de estudo, com 30 dias após plantio. Ponto 39, com intervalo de falha maior que 2,5 m. Fonte: Autores, 2024.

Aos 60 DAP, apresentada na Figura 5, a variação de medida no comprimento de falha de 1,5 a 2,0 m no ponto 29, houve uma diferença de medida de 0,34 m ou 26,56% menor que a falha mensurada a campo. A Tabela 3 confirma a diminuição no número total de falhas durante esse intervalo, sugerindo um fechamento gradual do dossel.

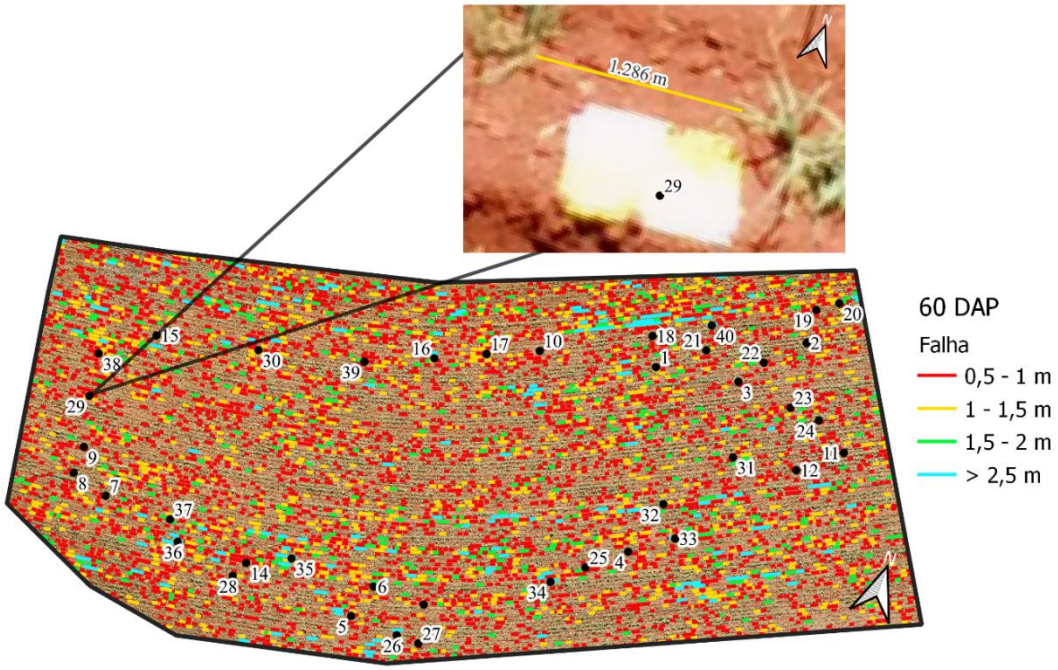

Figura 5. Medida de falha de forma automática realizada pelo programa, na área de estudo, com 60 dias após plantio. Ponto 29, com intervalo de falha de 1,5 a 2,0 m. Fonte: Autores, 2024.

A Figura 6 mostra a medição de falhas aos 90 DAP, ressaltando a falha com amplitude de 0,5 a 1,0 m no ponto 10, onde teve uma diferença de 0,23 m ou 6,85% para 90 DAP, sendo menor que a falha mensurada a campo. Esta redução das falhas é evidenciada na Tabela 3, onde o número total de falhas sofre uma redução significativa com o passar do tempo.

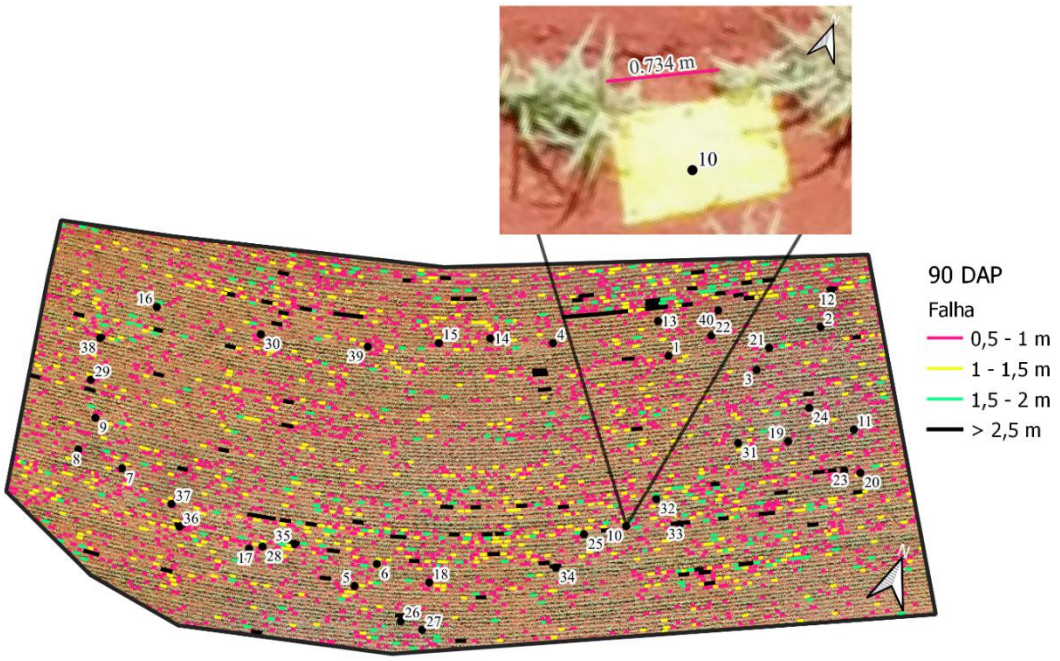

Figura 6. Medida de falha de forma automática realizada pelo programa, na área de estudo, com 90 dias após plantio. Ponto 10, com intervalo de falha de 0,5 a 1,0 m. Fonte: Autores, 2024.

Os dados da Tabela 3 mostram redução progressiva na quantidade de falhas ao longo do tempo, independentemente do comprimento das mesmas. Aos 30 DAP, as falhas eram predominantes em todos os intervalos, sendo mais frequentes no intervalo de 0,5 - 1,0 m e no intervalo acima de 2,5 m, chegando a corresponder a 44,27% das falhas. Aos 60 DAP, ocorre uma redução significativa das falhas, especialmente nos intervalos entre 0,5 - 1,0 m e acima de 2,5 m, totalizando 19,75% das falhas. Sendo assim, o total de falhas aos 90 DAP diminui para 10,39%, onde as falhas se tornam ainda menos expressivas, com algumas áreas apresentando intervalos de apenas 0,5 - 1,0 m **e** superiores a 2,5 m, embora diminuídas, ainda são significativas.

Os resultados indicam uma considerável diminuição no número total de falhas durante os três períodos analisados. Esta redução está intrinsecamente ligada ao progresso cultural e às circunstâncias de captura das imagens, que englobam a qualidade da imagem, o tamanho do pixel, as especificações da câmera empregada e a altura de voo (HU et al., 2019). O fechamento do dossel durante o ciclo de crescimento auxilia na recuperação das falhas, possivelmente por causa do surgimento de gemas tardias e do crescimento lateral de novos perfilhos, que preenchem os vazios e complicam a identificação entre a cana-de-açúcar e o solo visível nas imagens.

Tabela 3. Quantidade total de falhas realizada de forma automática na área do estudo, em função dos intervalos de comprimentos de falhas e dias após plantio, na cultura da cana-de-açúcar.

Comprimento de falhas (m)	**Quantidade total de falhas (m)**		
	30 DAP	**60 DAP**	**90 DAP**
0,5 - 1,0	4.620	2.831	1.502
1,0 - 1,5	3.123	1.540	816
1,5 - 2,0	1.962	842	419
> 2,5	4.122	984	628
Linhas Totais (m)	31.227	31.362	32.372
Falhas Totais (m)	13.827	6.197	3.365
Falhas Totais (%)	44,27	19,75	10,39

DAP= Dias Após Plantio. Fonte: Autores, 2024.

Mesmo com a significativa diminuição, as falhas com mais de 2,5 m ainda são significativas até os 90 dias após o plantio, o que pode afetar adversamente a produtividade, restringindo a interceptação de luz e diminuindo a eficácia do plantio. Este resultado ressalta a relevância do acompanhamento constante e da implementação de estratégias corretivas, como o replantio, para atenuar os efeitos na produtividade (MALDANER et al., 2021).

Conclusões

A altura de sobrevoo e fase de desenvolvimento da cultura no mapeamento de falhas em canaviais têm interação na precisão da estimativa de falhas em comparação com observações de campo.

Os resultados indicaram que a qualidade do mapeamento é influenciada pelo desenvolvimento da cultura e pelo momento adequado para a captura das imagens.

Mapear falhas em plantas com até 0,5 m de altura, que corresponde aos 60 DAP, reduz erros. A precisão diminui com falhas menores, quando se passou dos 60 DAP, sendo uma limitação do estudo no mapeamento de falhas de 0,5 m.

Referências

ALMEIDA JÚNIOR, J. J. A.; ALMEIDA, M. M.; ALMEIDA, É. V.; CARNEIRO, A. O. T.; FERREIRA, M. C.; SANTOS, L. J. S. Use of the photosynthesis inducer “start foton” in sugarcane culture. Brazilian Journal of Development, v. 8, n. 4, p. 29621-29632, 2022

ARANTES, B. H. T.; ARANTES, L. T.; COSTA, E. M.; VENTURA, M. V. A. Drone aplicado na agricultura digital. Ipê Agronomic Journal, v. 3, n. 1, p. 14-18, 2019.

BARBOSA JÚNIOR, M. R.; TEDESCO, D.; CORRÊA, R. G.; MOREIRA, B. R. A.; SILVA, R. P.; ZERBATO, C. Mapping Gaps in Sugarcane by UAV RGB Imagery: The Lower and Earlier the Flight, the More Accurate. Agronomy, v. 11, p. 2578, 2022.

BARROS, J. É. DO N. Análise de falhas no cultivo de cana de açúcar a partir de imagens de aeronave remotamente pilotada. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. 2018.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F.N.; BARROS, J. R. Classificação climática de köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. Acta Geografica, Boa Vista, v. 8, n. 16, p. 40-55, jan./mar. 2014.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTCIMENTO - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, Brasília, DF, v. 11, n. 4 abril 2024. Disponível em: http://www.conab.gov.br. Acesso em: 15 nov. 2024.

CORRÊA, C. V. DOS S. A geotecnologia no monitoramento, alerta e prevenção de desastres - os desastres naturais e tecnológicos no cenário brasileiro e estudos de caso do emprego de geotecnologias como subsídio a sua mitigação. Revista Ciência Geográfica, p. 390 - 417, 2020.

DOHA, R; AL HASAN, M; ANWAR, S; RAJENDRAN, V. Deep Learning based Crop Row Detection with Online Domain Adaptation. Proceedings of the 27th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery & Data Mining. Association for Computing Machinery. (KDD ’21), p. 2773–2781. 2021.

GOMES, L. F.; DOS SANTOS, L. N. S.; TEIXEIRA, M. B.; DA SILVA, N. F.; GERALDINE, A. M. Informações invisíveis. Revista Cultivar, p. 31, 2019

HU, P.; GUO, W.; CHAPMAN, S.C.; GUO, Y.; ZHENG, B. Pixel size of aerial imagery constrains the applications of unmanned aerial vehicle in crop breeding. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 154, p. 1-9. 2019.

LACERDA, A. R. S.; SOUZA, A. R.; SANTOS, T. M.; CLEMENTE, J. M.; DUARTE, A. R.; MACHADO, M. G. Produtividade da cana-de-açúcar em resposta a adubação NPK em diferentes épocas. Humanidades & Tecnologia em Revista (FINOM), v. 1, n. 18, 2019.

LAL, N. Micropropagated Plants as Alternative Planting Material to Sugarcane Setts. Indian Journal of Biology, v. 8, n. 1, p. 27-30, 2021.

LUNA, I.; LOBO, A. Mapping Crop Planting Quality in Sugarcane from UAV Imagery: A Pilot Study in Nicaragua. Remote Sensing, v. 8, p. 500, 2016.

MALDANER, J. P. MOLIN, M. MARTELLO, T. R. TAVARES, and F. L. Dias. Identification and Measurement of Gaps Within Sugarcane Rows for Site-Specific Management: Comparing Different Sensor-Based Approaches. Biosystems Engineering, 209:64–73, Sept. 2021. ISSN 15375110. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2021.06.016.

MOLIN, J. P.; VEIGA, J. P. S.; Spatial variability of sugarcane row gaps: measurement and mapping. Ciências Agrotec, v.40 n.3 Lavras May/June, 2016.

OLIVEIRA, M. P. d. et al. Mapping Gaps in Sugarcane Fields Using UAV-RTK Platform. Agriculture, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 13, n. 66, 2023.

ROCHA, B. M.; FONSECA, A. U.; PEDRINI, H.; SOARES, F. Automatic detection and evaluation of sugarcane planting rows in aerial images. Information Processing in Agriculture Journal, v. 9, p. 343-474. 2022.

SOUZA, C. H. W. d. et al. Mapping skips in sugarcane fields using object based analysis of unmanned aerial vehicle (UAV) images. Computers and Electronics in Agriculture, v. 143, p. 49-56, 2017.

STOLF, R; GARCIA, T. B.; NERIS, L. O.; TRINDADE JUNIOR, O.; REICHARDT, K. Avaliação de falhas em cana de açúcar segundo o método de Stolf utilizando imagens aéreas de alta precisão obtidas por VANT, v. 34, n. 4 STAB – Março/Abril, 2016.

XU J-X, MA J, TANG Y-N, WU W-X, SHAO J-H, WU W-B, WEI S-Y, LIU Y-F, WANG Y-C, GUO H-Q. Estimation of sugarcane yield using a machine learning approach based on UAV-LiDAR data. Remote Sensing 12:2823. 2020.