

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO POLITÉCNICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA DE
PRECISÃO

Mario Hideo Sasaki

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE SISTEMA
ELETRÔNICO DE AQUISIÇÃO DE IMAGENS AÉREAS PARA
DETECÇÃO DE FALHAS DE ESTABELECIMENTO DE ESTANDE
NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

SANTA MARIA, RS
2019

Mario Hideo Sasaki

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE SISTEMA ELETRÔNICO DE
AQUISIÇÃO DE IMAGENS AÉREAS PARA DETECÇÃO DE FALHAS DE
ESTABELECIMENTO DE ESTANDE NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação Profissional em Agricultura de Precisão da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Orientador: Prof. Dr. Lúcio de Paula Amaral

**Santa Maria, RS
2019**

Sasaki, Mario Hideo
DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE SISTEMA ELETRÔNICO DE
AQUISIÇÃO DE IMAGENS AÉREAS PARA DETECÇÃO DE FALHAS DE
ESTABELECIMENTO DE ESTANDE NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR /
Mario Hideo Sasaki.- 2019.
38 p.; 30 cm

Orientador: Lúcio de Paula Amaral
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em
Agricultura de Precisão, RS, 2019

1. Falhas em cana-de-açúcar 2. Fotogrametria digital
3. Agricultura de precisão I. Amaral, Lúcio de Paula II.
Título.

Mario Hideo Sasaki

DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE SISTEMA ELETRÔNICO DE AQUISIÇÃO DE IMAGENS AÉREAS PARA DETECÇÃO DE FALHAS DE ESTABELECIMENTO DE ESTANDE NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação Profissional em Agricultura de Precisão da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Aprovado em 29 de março de 2019:

Lúcio de Paula Amaral, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Telmo Jorge Carneiro Amado, Dr. (UFSM)

Rodrigo Sinaidi Zandonadi, Dr. (UFMT) - Videoconferência

Santa Maria, RS
2019

DEDICATÓRIA

Dedico a minha mãe, que sempre lutou para que seus filhos tivessem oportunidade de estudar e evoluir como pessoas.

À minha esposa, pelo apoio incondicional em todos os momentos, principalmente nos difíceis, comuns nesta jornada de crescimento profissional.

Sem vocês nenhuma conquista valeria a pena.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que diretamente fizeram parte desta jornada de Pós-graduação e de alguma forma contribuíram para a realização desta dissertação, em especial:

À Deus, pela vida, saúde e por me guiar ao longo desta caminhada.

À minha família, em especial a minha mãe Luzia Sanae Miyamoto, meus irmãos Edson Minoru Sasaki e Osvaldo Shigueki Sasaki e esposa Verônica Satomi Kazama, que mesmo distantes, me incentivaram e apoiaram a todo momento.

À Universidade Federal do Mato Grosso, professores e colegas do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, pelo ensino de qualidade e formação como engenheiro. Agradecimentos especiais aos professores do Laboratório de Agricultura de Precisão e Mecanização Agrícola – LAPMEC, Rodrigo Sinaidi Zandonadi, Thiago Martins Machado e Diego Augusto Fiorese, pelo conhecimento nas áreas de Agricultura de Precisão, Mecanização e Instrumentação Agrícola.

À APagri Consultoria Agronômica, em especial ao Tiago Cappello Garzella, pela oportunidade de crescimento profissional, amizade e incentivo.

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Colégio Politécnico e o Programa de Pós-graduação em Agricultura de Precisão, por conceder a oportunidade deste mestrado. Agradecimentos especiais aos professores Telmo Jorge Carneiro Amado e Elódio Sebem, pelo conhecimento adquirido durante o mestrado.

Ao professor Lúcio de Paula Amaral, pela paciência e orientação para conclusão desta dissertação, ensinamentos e amizade.

À Usina Nova Galia, por ceder espaço e auxílio na execução dos experimentos deste trabalho.

Enfim, a todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste projeto.

EPÍGRAFE

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor,
mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou
o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou
o que era antes”.*

(Martin Luther King)

RESUMO

DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE SISTEMA ELETRÔNICO DE AQUISIÇÃO DE IMAGENS AÉREAS PARA DETECÇÃO DE FALHAS DE ESTABELECIMENTO DE ESTANDE NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

AUTOR: Mario Hideo Sasaki
ORIENTADOR: Lúcio de Paula Amaral

A intensidade e o tamanho das falhas de cana-de-açúcar tendem a aumentar ao longo de cada corte, gerando assim a redução da produtividade da lavoura, tornando a análise de falhas um parâmetro importante para auxílio na decisão de reforma do canavial. O uso de técnicas de sensoriamento remoto, juntamente a aerofotogrametria podem auxiliar no cálculo de falhas na cultura de cana a partir de imagens de alta resolução espacial. Este trabalho, teve por objetivo a construção de um sistema eletrônico para planejamento e execução de coleta de imagens aéreas por aviões agrícolas e o desenvolvimento de um procedimento em aplicativo de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para detecção de linhas e falhas a partir do mosaico de imagens georreferenciado. O sistema eletrônico proposto teve como principais componentes dois controladores ATmega328p, um receptor GNSS, botões, display LCD e conector para cabo de disparo da câmera digital. Para avaliação da funcionalidade do sistema eletrônico, foram realizados voos para imageamento de uma fazenda no estado de Goiás, utilizando o sistema desenvolvido embarcado em um avião agrícola Ipanema. Além do imageamento realizado por este sistema, foram adquiridas imagens aéreas com uma aeronave remotamente pilotada (ARP) e realizadas as medições a campo, de forma manual de falhas pelo método de Stolf. Os resultados demonstraram que foi possível realizar a coleta de imagens aéreas pelo sistema eletrônico embarcado em um avião agrícola e que o uso destas imagens aéreas pode contribuir para estimar a quantidade de falhas de estabelecimento de estande na cultura de cana-de-açúcar através de SIG e plataformas de processamento digital de imagem.

Palavras-chave: Falhas em cana-de-açúcar. Fotogrametria digital. Agricultura de precisão.

ABSTRACT

DEVELOPMENT AND VALIDATION OF ELECTRONIC AERIAL IMAGES ACQUISITION SYSTEM FOR DETECTION OF STANDARD GAPS IN SUGAR CANE CULTURE

AUTHOR: Mario Hideo Sasaki
ADVISOR: Lúcio de Paula Amaral

The intensity and size of sugar cane gaps tend to increase along each cut, thus reducing crop productivity, making failures analysis an important parameter to aid in the sugarcane reforestation decision. The use of remote sensing techniques along with aero photogrammetry can aid in the calculation of cane failures from high spatial resolution images. The objective of this work was the construction of an electronic system for planning and execution of aerial image collection by agricultural airplane and the development of an application procedure of Geographic Information System (GIS) for detection of lines and gaps from the georeferenced mosaic of images. The proposed electronic system had as main components two controllers ATmega328p, a GNSS receiver, buttons, LCD display and connector for shooting cable of the digital camera. In order to evaluate the functionality of the electronic system, flights were carried out to image a farm in the state of Goiás, using the developed system embarked on an Ipanema agricultural airplane. In addition to the imaging performed by this system, aerial images were acquired with a remotely piloted aircraft (RPA) and the field measurements were performed manually by Stolf method. The results showed that it was possible to collect aerial images through the electronic system boarded in an agricultural airplane and that the use of these aerial images can contribute to estimate the number of failures in the culture of sugarcane through GIS and processing platforms digital image.

Keywords: Gaps in sugar cane. Digital photogrammetry. Precision agriculture.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

ARTIGO

- Figura 1.** Relação entre os principais elementos do sistema de disparo automático de fotografias aéreas (SDAFA). 25
- Figura 2.** Localização da área de estudo do presente trabalho. 26
- Figura 3.** Sistema eletrônico da caixa de comando para o sistema de disparo de fotos automático a ser acoplado em um avião agrícola. Em que: a - vista frontal da placa de comando; b - vista posterior da placa de comando. 27
- Figura 4.** Funções da caixa de comando do sistema de o sistema de disparo de fotos automáticas a ser acoplado em um avião agrícola. 28
- Figura 5.** Sistema de disparo de fotos automático acoplado em um avião agrícola. 28
- Figura 6.** Mosaico da área de estudo efetuada por meio do voo teste e o uso do sistema desenvolvendo no presente estudo (a) e diferença dimensionais da cena de uma fotografia obtida pelo SDAFA e outra pelo sensor embarcado na ARP (b)..... 29
- Figura 7.** Comparação visual entre as imagens mosaicadas para parcela 1 e 2, ambas com dimensão de 30 m por 30 m. Em que: Imagem por sistema eletrônico acoplado ao avião agrícola no talhão A (a) e talhão B (b) e Imagem obtida por sensor embarcado em ARP DJI, Mavic Pro Platinum no talhão A (c) e talhão B (d). 30

LISTA DE TABELA

ARTIGO

- Tabela 1.** Estrutura do experimento para avaliar métodos distintos de identificação de linhas e cálculo de falhas de plantas de cana-de-açúcar, situado em Acreúna, Goiás..... 26
- Tabela 2.** Valores de *p-value* para teste de Friedman ($p = 0,05$) para as variáveis do presente estudo nas parcelas 1 e 2, situadas nos talhões A e B, respectivamente. 31
- Tabela 3.** Valores de *p-value* do teste de Nemenyi ($p = 0,05$) para variáveis de cada tratamento comparado com a testemunha da parcela 1, situada no talhão A, estande de cana mais jovem. 31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Agricultura de Precisão
SIG	Sistema de Informação Geográfica
CAD	Computer Aided Design
UTM	Universal Transverse Mercator
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
NMEA	National Marine Electronics Association
PCI	Placas de Circuito Impresso
SDAFA	Sistema de Disparo Automático de Fotografia Aérea
IDE	Integrated Development Environment / Ambiente de Desenvolvimento Integrado
GLI	Green Leaf Index
RGB	Red, Blue, Green
GPL	General Public License
IHM	Interface homem-máquina
SFM	Structure From Motion

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO.....	12
1.1	REFERENCIAL TEÓRICO	13
1.1.1	Agricultura de precisão	13
1.1.2	Geoprocessamento e sistemas de informações geográficas	14
1.1.3	Sensoriamento remoto e processamento digital de imagens	14
1.1.4	Fotogrametria e Fotointerpretação.....	15
1.1.5	Sistemas de Navegação Global por Satélites	17
1.1.6	Cultura de cana-de-açúcar	17
1.2	PROPOSIÇÃO	18
1.3	MATERIAL E MÉTODOS	18
2	ARTIGO	21
	INTRODUÇÃO	23
	MATERIAL E MÉTODOS	24
	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
	CONCLUSÕES	32
	REFERÊNCIAS	33
3	CONCLUSÃO	35
	REFERÊNCIAS	36

1 APRESENTAÇÃO

O Brasil é maior produtor mundial de cana-de-açúcar, o que leva a uma projeção de crescente relevância para o agronegócio brasileiro. O aumento da demanda mundial por etanol, aliado às grandes áreas cultiváveis e condições edafoclimáticas favoráveis à cana-de-açúcar, tornam o Brasil um participante na comercialização mundial com elevada competitividade (CONAB, 2019).

Classificada como uma cultura semipermanente, apesar da cana-de-açúcar permitir vários cortes devido à sua capacidade de rebrota, tem sua produtividade minimizada a cada corte necessitando de reformas que ocorrem em média a cada cinco cortes (BORBA; BAZZO, 2009). Ao longo dos cortes, a intensidade e o tamanho das falhas de cana-de-açúcar tendem a aumentar devido a colheita mecânica, pragas e outros fatores, sendo as falhas, um parâmetro importante a ser monitorado para auxílio na decisão de reforma da lavoura (MOLIN; VEIGA, 2016). Para auxiliar nesta decisão a Agricultura de Precisão (AP) vem como uma interessante alternativa. Dentre as diversas geotecnologias disponíveis e aplicáveis à AP, destacam-se o sensoriamento remoto e os conhecimentos da fotogrametria/fotointerpretação.

Neste sentido, a presente dissertação teve por objetivo de construir um sistema eletrônico para planejamento e execução de coleta de imagens aéreas por aviões agrícolas e o desenvolvimento de um procedimento para aplicativo SIG, utilizado para detecção de linhas e falhas a partir do mosaico georreferenciado de imagens aéreas de alta resolução.

Dentre as vantagens deste sistema estão a otimização do uso de aeronaves agrícolas em períodos ociosos ao longo do ano, aumento da capacidade operacional em tempo de voo e área de imageamento coberta em relação as Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP), além de poder auxiliar na tomada de decisão de forma mais assertiva, pela possibilidade de melhor compreensão do comportamento das falhas de estabelecimento de estande em diferentes áreas de cultura de cana-de-açúcar com maior precisão.

Como a análise de falhas de plantio de cana-de-açúcar consiste em um parâmetro importante para o auxílio na decisão da reforma do canavial, assim, a estimativa da intensidade e o tamanho das falhas de plantio podem indicar o

momento certo de manejo, possibilitando o aumento da produtividade da lavoura.

O presente trabalho está estruturado por três partes:

- Parte inicial: apresentação contendo referencial teórico, proposição e material e métodos, onde se tem descrições gerais para a elaboração da dissertação;
- Parte dos resultados e discussões: em formato de artigo apresentado nas respectivas normas para ser submetido posteriormente a Revista Biofix Scientific Journal, da Universidade Federal do Paraná (UFPR);
- Parte final: é constituída pela conclusão da dissertação e referências bibliográficas utilizadas na mesma, exceto as do manuscrito.

1.1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1.1 Agricultura de precisão

A Agricultura de Precisão consiste na área do conhecimento que utiliza um conjunto de tecnologias com objetivo de promover melhorias na gestão dos sistemas de produção agrícola por meio do reconhecimento de que o potencial de produtividade das lavouras pode variar consideravelmente, mesmo em distâncias curtas, na unidade de metros ou em zonas, na unidade de área (m², ha). Ou seja, a AP busca uma forma de aumentar a probabilidade de que as estratégias certas de cultivo sejam efetuadas no momento e local correto (BRAMLEY, 2009).

Para Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão (BRASIL, 2014, p. 6), estabelece que a AP se trata de, “um conjunto de ferramentas e tecnologias aplicadas para permitir um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variabilidade espacial e temporal da unidade produtiva, visando ao aumento de retorno econômico e à redução do impacto ao ambiente”.

Atualmente a AP pode ser compreendida “como a aplicação de tecnologia da informação (TI) durante a condução das lavouras” (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015). As tecnologias que permitem alcançar o objetivo da Agricultura de Precisão estão ligadas o uso de técnicas de Geoprocessamento,

Sensoriamento Remoto, Sistemas de Navegação Global por Satélites (GNSS) e entre outros.

1.1.2 Geoprocessamento e sistemas de informações geográficas

Geoprocessamento consiste na área do conhecimento que usa técnicas matemáticas e computacionais para tratar os processos que ocorrem no espaço geográfico (D'ALGE, 2002). Dentre as ferramentas computacionais, ou as ditas geotecnologias, para Geoprocessamento estão os Sistemas de Informações Geográficas (CÂMARA; DAVIS; CÂMARA, 2001). O Geoprocessamento incorpora conceitos e aplicações de diversas outras áreas como a do Sensoriamento Remoto, Cartografia, CAD (*Computer Aided Design*) e Gerenciamento de Banco de Dados (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2002).

Os Sistemas de Informações Geográficas trata-se de sistemas computacionais que trabalham infinitos número de informações de cunho geográfico. Para uso efetivo de um SIG, é preciso além de um meio computacional, uma base de dados georreferenciados, isto é, dados que estão associados a um sistema de coordenadas conhecido. Na qual, vinculam os pontos reais do terreno por coordenadas de latitude e longitude ou em projeção cartográfica, como por exemplo as coordenadas *Universal Transverse Mercator* (UTM) (FITZ, 2008). O SIG permite realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados (CÂMARA; DAVIS; CÂMARA, 2001).

Hugentobler (2008) descreve o QGIS como um SIG escrito em C++, de código aberto e disponível sob as condições da *General Public License* (GPL) que tem foco na visualização interativa dos dados espaciais em um plano bidimensional. Este *software* permite a edição de dados vetoriais além de suportar muitos formatos vetoriais e matriciais.

1.1.3 Sensoriamento remoto e processamento digital de imagens

O sensoriamento remoto é definido como área que utiliza de forma conjunta elementos essenciais para obtenção de dados, como por exemplo, sensores, equipamentos de transição de dados colocados a bordo de

plataformas como aeronave e espaçonaves, equipamentos para processamento de dados, que tem por intuito o estudo da superfície do Terrestre (NOVO, 2010).

A informação utilizada no sensoriamento remoto por regra é representada na forma de imagem, que pode ser uma imagem fotográfica, de radar ou obtida por meio de laser. A imagem é formada por meio da captura da variação da intensidade de energia proveniente dos diferentes pontos da superfície (CENTENO, 2009).

Os sistemas de sensoriamento remoto disponíveis atualmente são capazes de fornecer imagens repetitivas e consistentes da superfície da Terra, que são de relevância para estudos e levantamentos geológicos, ecológico, agrícolas, cartográficos, florestais, urbanos, oceanográficas, hidrológicas, e dentre outros (NOVO, 2010).

As imagens de sensoriamento remoto contêm informações em uma dimensão muito maior que a sensibilidade de percepção do olho humano, sendo essencial o papel do processamento das imagens para traduzir essa informação extraindo das mesmas apenas o essencial aos fins determinados do usuário. O processamento digital de imagens de sensoriamento remoto consiste nas técnicas utilizadas para identificar, extrair, condensar e realçar a informação de interesse para determinados fins, a partir da enorme quantidade de dados presentes nestas imagens (CRÓSTA, 1992).

1.1.4 Fotogrametria e Fotointerpretação

O termo fotogrametria pode ser, em consenso geral e de grosso modo, definido como a ciência e tecnologia de se obter informações confiáveis através de imagens adquiridas por sensores (BRITO; COELHO, 2007).

Ainda de acordo com Brito e Coelho (2007), na década de 80, surgiu o termo fotogrametria digital, possibilitando a utilização de imagens digitais como fonte primária de dados. Podendo ser obtidas as imagens através de câmeras digitais ou mesmo do processo de digitalização de imagens analógicas em matriz. A partir dos anos 90, o uso desta tecnologia se tornou extensiva, graças a capacidade de processo de grandes volumes de dados com o avanço dos computadores.

Segundo de Oliveira Filho e Agostinho (2018), a aerofotogrametria é uma técnica de alta qualidade que vem evoluindo constantemente. Parte desta qualidade se deve ao avanço dos sensores e softwares. A instalação destes sensores ocorre geralmente em aeronaves convencionais ou helicópteros. Uma série de fatores que antecedem o voo são considerados para o planejamento da rota e aquisição de imagens.

A interpretação de imagens geradas por sensoriamento remoto segue os princípios básicos da interpretação aerofotogramétrica. Imagens obtidas por fotos aéreas, radar e satélite apresentam diferenças entre si, que se encontram na forma de análise de resolução espectral e resolução espacial. As imagens aéreas possuem em princípio melhor resolução espacial, e requer do interpretador uma capacidade maior de reconhecimento dos elementos da foto com os objetos reais. Enquanto que, imagens de radar e satélite tem uma maior resolução espectral que permite o uso de ferramentas mais sofisticadas (FITZ, 2008).

A fotointerpretação consiste na técnica que tem por objetivo examinar, identificar e interpretar e obter informações contidas em imagens fotográfica (LOCH, 2008). Em geral, a fotointerpretação está vinculada a aerofotointerpretação, no entanto, esta pode ser estendida à interpretação de imagens de radar e satélite quando utilizadas na faixa do visível (FITZ, 2008).

A fotointerpretação é facilitada quando a foto tem qualidade e para tal diversos são os fatores que interferem na qualidade sendo classificadas em região fotografadas, condições atmosféricas, momento da tomada da foto, ordem técnica, qualidade do equipamento e escala da foto. A forma de interpretação da imagem pode ser de duas formas: visual ou automática. A interpretação visual sempre dependerá do intérprete que excuta o estudo. A interpretação automática pode ser realizada por analisadores de imagens computacionais capazes de analisar dados na forma digital (FITZ, 2008).

1.1.5 Sistemas de Navegação Global por Satélites

O GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) é um método de localização que auxilia inúmeras atividades e setores da economia, dentre eles a agricultura. Um dos principais sistemas de navegação que compõem o GNSS é o GPS (*Global Positioning System*), que foi desenvolvido pelos Estados Unidos, sendo o mais utilizado pela sua disponibilidade (MACHADO; MOLIN, 2011).

O sistema GPS, como um todo, é composto por três segmentos: 1) o segmento espacial, que engloba satélites artificiais da Terra que emitem sinais eletromagnéticos; 2) o segmento de controle, representado pelas estações terrestres que mantêm os satélites em funcionamento; e 3) o segmento dos usuários, envolve receptores, que captam os sinais enviados pelos satélites e, com eles, calculam sua posição (PAZ; CUGNASCA, 1997).

Dentre os modelos de receptores GNSS, destaca-se o u-blox Neo 6M, por ser um módulo GPS de alto desempenho. Este módulo possui sensibilidade de rastreamento de -162dBm, gerenciamento de energia configurável, mecanismo híbrido SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS) e GPS além de possuir antena cerâmica passiva de alto desempenho (LIU et al., 2015).

1.1.6 Cultura de cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma importante cultura para o setor de biocombustíveis, visto que, apresenta grande potencial na produção de etanol e seus respectivos subprodutos. Além da produção de etanol e açúcar, as unidades de produção têm buscado aumentar sua eficiência na geração de energia elétrica, visando auxiliar no aumento da oferta e redução dos custos e contribuindo para ampliar a sustentabilidade do setor.

Apesar da queda de 0,07% em relação à safra anterior, a estimativa da produtividade da cana-de-açúcar para a safra 2019/20 é de 615,98 milhões de toneladas, sendo estimada a área total de colheita em 8.382,2 mil hectares, cerca de 2,4% inferior ao colhido na temporada anterior. Apesar do decréscimo nacional da área colhida, no segundo maior produtor nacional, Goiás, espera-se

colher 3,5% a mais em relação aos números apresentados em 2018/19 (CONAB, 2019).

Considerada uma cultura semi-perene, a cana-de-açúcar permite cortes sucessivos a partir de um único plantio. A cada corte o potencial produtivo normalmente decresce, devido aos tratos culturais executados na lavoura, variedade, fertilidade do solo e época de colheita (BARATA, 1992).

Segundo Molin e Veiga (2016), o monitoramento das falhas de cana-de-açúcar é importante para auxílio na decisão de reforma da lavoura, sendo que ao longo dos cortes, ocorre o aumento da intensidade e tamanho destas falhas.

1.2 PROPOSIÇÃO

O presente estudo propõe o objetivo de desenvolver um sistema eletrônico para aquisição de imagens embarcado em avião agrícola, para realizar mapeamento de áreas com plantações de cana-de-açúcar, com duas idades diferentes, em uma fazenda no estado de Goiás, e realizar o processamento para detecção automática de linhas e falhas de estabelecimento de estande dessa cultura, utilizando o mosaico de imagens geradas por este sistema.

Neste sentido, o presente estudo tem como objetivos específicos:

- Desenvolver e validar um sistema de disparo de fotos automático para um avião agrícola;
- Desenvolver e validar uma metodologia de identificação automática de linhas e falhas de plantio de cana-de-açúcar em diferentes estágios de desenvolvimento, em Sistema de Informações Geográficas;

1.3 MATERIAL E MÉTODOS

Foi desenvolvido um sistema de disparo automático de fotografia aérea (SDAFA), utilizando placas de circuito impresso e componentes eletrônicos adicionais como módulo de cartão SD e receptor GNSS NEO-6M da marca u-blox. Estes componentes, juntamente com controlares Atmega328p, permitem a aplicação de conceitos de fotogrametria para planejamento de voo, além de

realizar os disparos da câmera de forma automática e armazenar as coordenadas recebidas pelo receptor GNSS ao cartão SD. O desenvolvimento e construção do SDAFA se deu em duas etapas, sendo inicialmente configurados os algoritmos a partir de noções de fotogrametria e posteriormente a fabricação das placas de circuito impresso.

Para verificação do funcionamento do SDAFA, foram realizados voos sob experimento de dois talhões de cultura de cana-de-açúcar, com espaçamento de 1,5 metros, situados na Fazenda Santa Tereza, no município de Acreúna, no estado de Goiás. O experimento teve como objetivo analisar os mosaicos resultantes das imagens aéreas obtidas pelo SDAFA e também por uma ARP, para duas parcelas, onde foram mensuradas as falhas pelo método de Stolf (1986) de forma manual a campo.

Conforme a classificação de Köppen, o tipo climático do município de Acreúna é Aw, caracterizada com inverno seco e verão chuvoso. Apresenta altitude média de 530,5 m acima do nível do mar, temperatura média anual de 23,3 °C e precipitação média anual acumulada de 1.785,92 mm (ALVARES et al., 2013).

O solo predominante da região é Latossolo Vermelho acrílico férrico (SIEG, 2017). A geomorfologia é caracterizada por um relevo de dissecação fraca com sistemas lacustres (presença de lagos). Encontra-se entre as cotas 400 e 550 m aproximadamente, cortando os basaltos e arenitos da Formação Serra Geral na Bacia do Paraná e rochas do embasamento cristalino no setor centro-noroeste do Estado de Goiás (GOIAS, 2005). A formação vegetacional da área de estudo é Floresta Estacional, situada no bioma Cerrado (Savana) (IBGE, 1992).

Um algoritmo para identificação de linhas e falhas de cana-de-açúcar a partir de mosaicos georreferenciados de alta resolução foi desenvolvido. Este algoritmo considerou as bandas vermelho e verde da composição RGB para calcular um índice de vegetação, o *Green Leaf Index* (GLI), com objetivo de segmentar pixels solo e planta.

Foram identificadas as linhas sobre o mosaico georreferenciado em um *software* SIG e de forma automática utilizando programação no *software* R. Para a função automática de identificação das linhas de cana, foram vetorizadas as regiões de pixels correspondentes a cana-de-açúcar a partir do GLI e gerada uma nuvem de pontos centralizados nestes polígonos.

Seis variáveis foram consideradas a partir dos segmentos de falhas vetorizados gerados pelo algoritmo, sendo elas: número segmentos de falha; comprimento total de falhas (m); porcentagem de falhas (%); comprimento médio de falhas (m); comprimento mínimo de falhas (m); comprimento máximo de falhas (m). Estas variáveis foram analisadas estatisticamente, inicialmente pelo teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov ($p=0,05$).

Devido a rejeição da hipótese nula do teste de normalidade para as variáveis analisadas, utilizou-se a estatística não paramétrica descrita por (DEMSAR, 2006), com o teste de Friedman ($p=0,05$) e o teste *post-hoc* de Nemenyi ($p=0,05$) para comparações múltiplas quando existir rejeição da hipótese nula do teste de Friedman.

2 ARTIGO

SASSAKI, H. S.; AMARAL, L. P.; GARZELLA, T. C.; AMADO, T. J. C.; ZANDONADI, R. D. Sistema eletrônico de aquisição de imagens aéreas e detecção de falhas na cultura de cana-de-açúcar. Artigo submetido a revista *BIOFIX Scientific Journal*, 2019.

SISTEMA ELETRÔNICO DE AQUISIÇÃO DE IMAGENS AÉREAS E DETECÇÃO DE FALHAS NA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR

ELECTRONIC AERIAL IMAGES ACQUISITION SYSTEM AND DETECTION OF GAPS IN SUGAR CANE CULTURE

Mario Hideo Sasaki¹, Lúcio de Paula Amaral², Tiago Cappello Garzella³, Telmo Jorge Carneiro Amado⁴, Rodrigo Sinaidi Zandonadi⁵

^{1, 2, 4} Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Colégio Politécnico da UFSM, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil – mariohs14@hotmail.com, amaralufsm@gmail.com

³ APagri Consultoria Agronômica, Piracicaba, São Paulo, Brasil – tiago@apagri.com.br

⁵ Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Sinop, Mato Grosso, Brasil - zandonadi.rodriq@gmail.com

RESUMO

A intensidade e o tamanho das falhas em lavoura de cana-de-açúcar tendem a aumentar ao longo de cada corte, reduzindo a produtividade da lavoura. Este estudo objetiva construir um sistema eletrônico para adquirir imagens aéreas por aviões agrícolas e desenvolver um algoritmo para detecção automática de linhas e falhas de plantas de cana-de-açúcar, a partir do mosaico georreferenciado de fotografias aéreas digitais verticais. A hipótese é que o sistema proposto obtenha fotografias aéreas com qualidade, que permita que o resultado do algoritmo de detecção de linhas e falhas de plantas seja semelhante ao medido em campo. O sistema constituiu-se de placas de circuito impresso e componentes eletrônicos. Os dados foram coletados em dois talhões em diferentes estágios de desenvolvimento da cultura, em Goiás. Em cada talhão, foram instaladas uma parcela de 30 x 30 m, contendo 21 linhas de cultura. Para cada talhão foi aplicado um experimento para avaliar se existe diferença estatística de parâmetros de falhas, pelo teste de Friedman e Nemenyi, entre a testemunha e 4 tratamentos, que analisaram diferentes formas de obtenção de falhas (automática e semiautomática) e de aquisição de imagens (sensor embarcado em avião e em uma aeronave remotamente pilotada - ARP) com medições manuais de falhas a campo. As imagens aéreas adquiridas pelo sistema e o algoritmo desenvolvido estimaram diversos parâmetros de falhas estatisticamente semelhantes à testemunha para os dois talhões, tais como comprimento. Conclui-se que o algoritmo e o sistema propostos, são novas ferramentas satisfatórias para auxiliar no monitoramento de falhas de cana.

Palavras-chave: Falhas em cana-de-açúcar. Fotogrametria digital. Agricultura de precisão.

ABSTRACT

The intensity and size of failures in sugarcane farming tend to increase throughout each cut, reducing crop productivity. This study aims to build an electronic system to acquire aerial images by agricultural airplane and to develop an algorithm for automatic detection of lines and faults of sugarcane plants from the georeferenced mosaic of vertical digital aerial photographs. The hypothesis is that the proposed system obtains aerial photographs with quality, which allows the result of the detection algorithm of lines and faults of plants to be similar to that measured in the field. The system consisted of printed circuit boards and electronic components. The data were collected in two plots at different stages of crop development, in Goiás. A plot of 30 x 30 m containing 21 culture lines was installed in each plot. For each plot, an experiment was carried out that tested whether there is a statistical difference in the failure parameters, by Friedman and Nemenyi tests, between the control and 4 treatments. These analyzed different ways of obtaining failures (automatic and semiautomatic) and image acquisition (airplane-embedded sensor and a remotely piloted aircraft – RPA) with manual measurements of field failures. The aerial images acquired by the system and the algorithm developed estimated several fault parameters statistically similar to the control for the two plots, such as length. It is concluded that the proposed algorithm and the system are new satisfactory tools to assist in the monitoring of cane failures.

Keywords: Gaps in sugar cane. Digital photogrammetry. Precision agriculture. Digital photogrammetry.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com crescente relevância para o agronegócio brasileiro. A estimativa da produtividade nacional da cana-de-açúcar para a safra 2019/20 é de 615,98 milhões de toneladas, com área total estimada de colheita em 8.382,2 mil hectares. Os principais produtos da cana são o açúcar e o etanol com as produções de estimadas de 31,8 milhões de toneladas e 30,3 bilhões de litros respectivamente, em relação à safra passada 2018/19 (CONAB, 2019).

Classificada como uma cultura semipermanente, apesar da cana-de-açúcar permitir vários cortes devido à sua capacidade de rebrota, tem sua produtividade minimizada a cada corte necessitando de reformas que ocorrem em média a cada cinco cortes (BORBA; BAZZO, 2009). Ao longo dos cortes, a intensidade e o tamanho das falhas de cana-de-açúcar tendem a aumentar devido a colheita mecânica, pragas e outros fatores. Sendo as falhas, um parâmetro importante a ser monitorado para auxílio na decisão de reforma da lavoura (MOLIN; VEIGA, 2016). Entretanto, são escassas as metodologias eficientes para estimativa de falhas de cana-de-açúcar na literatura.

A identificação das linhas e falhas de cultura atualmente é facilitada por meio de ferramentas da Agricultura de Precisão, que com o uso de imagens fotográficas obtidas por meio de sensores remotos, possibilita a análise de falhas por meio de um sistema de informações geográficas. Como demonstrados nos estudos de Arantes et al. (2019) para cultura de mandioca; de Marchiori e Trevisan (2017) e Alves et al. (2015) para cana-de-açúcar; e Souza (2017) para café.

Para obter a imagem fotográfica para fins de uso na agricultura existem diversos meios como aeronaves convencionais e aeronaves remotamente pilotadas (ARP).

Com o avanço tecnológico o uso de ARP tem se intensificado na agricultura. Dentre os tipos de ARP, as do tipo asa rotativa tem se destacado pela capacidade promissora para a coleta de dados de sensoriamento remoto agrícola porque são normalmente de baixo custo, possuem peso leve e baixa velocidade com rotas de voo flexíveis que os tornam adequados para coleta de informações, além de ser mais seguro em relação a aeronaves pilotadas (BAGHERI, 2016). No entanto, uma das limitações do ARP é o tempo de voo, que depende da carga útil, do projeto aniônico, duração das baterias, dentre outros fatores.

Conforme Garcia-Ruiz et al. (2013) o tempo de voo de uma ARP varia de 10 a 20 minutos e, dependendo da carga útil, este fator pode ser limitante para imageamento de áreas agrícolas que costumam apresentar grade extensão de áreas. Neste sentido, o avião agrícola ainda é um importante meio de aquisição de dados na agricultura pela sua maior autonomia de voo, quando comparado às ARP.

Segundo Faria (2017) houve um crescimento de 33% no número de aeronaves no setor agrícola entre os anos de 2010 e 2015 e anualmente são cobertos mais de 70 milhões de hectares pela pulverização por aviões agrícolas, sendo que estas operações na maioria dos casos, possuem concentrações em períodos inferiores a 5 meses devido aos picos de safras, havendo períodos em que os pilotos não faturam devido a sazonalidade das operações.

A região Centro-Oeste é a que possui maior frota, sendo que o estado de Goiás, em 2016, foi o quarto estado com mais aeronaves agrícolas no país, contendo pouco mais de 12% da frota nacional (FARIA, 2017).

Por meio das imagens adquiridas por sensores remotos, a ciência da fotogrametria permite a obtenção de informações confiáveis para análise de interesse (BRITO; COELHO, 2007). E quando combinada com a utilização de hardwares e softwares de código aberto, apresenta diversas oportunidades no setor agrícola. Essas novas tecnologias combinam maior precisão, robustez e menor custo de implantação, contribuindo com os esforços para implantações de sistemas contínuos de monitoramento e controle de culturas baseados em imagens voltadas a agricultura de precisão (OSROOSH et al., 2018).

O objetivo do presente estudo foi desenvolver um sistema eletrônico de aquisição de imagens para ser embarcado em avião agrícola, utilizado para imageamento de cultura de cana-de-açúcar em dois estágios de desenvolvimento, em Goiás. A partir do resultado das imagens do sistema, desenvolver um algoritmo para detecção de linhas e falhas de plantas. Como hipótese, espera-se que o sistema a ser construído possa obter fotografias aéreas digitais verticais, para a construção de um mosaico georreferenciado, que permita que o resultado do algoritmo de detecção de linhas e falhas seja semelhante ao mesurado em campo.

MATERIAL E MÉTODOS

Desenvolvimento da caixa de comando

O sistema de disparo automático de fotografia aérea SDAFA desenvolvido no presente estudo é composto por uma caixa de comando, que foi apresentada em uma Interface Homem-Máquina (IHM). O IHM consiste na interface entre o processo e os operadores, ou seja, o painel de controle do operador.

A caixa de comando do SDAFA é um equipamento composto por placas de circuito impresso e componentes eletrônicos que permitem a aplicação de conceitos de fotogrametria para auxiliar no planejamento do voo e execução do disparo automático das fotos via programação. O ambiente de desenvolvimento (IDE) utilizado foi o Arduino 1.8.8, com a linguagem de programação C++.

A caixa de comando possui três conectores que conectam: uma bateria de Chumbo (Pb) de 12 Volts; um receptor GPS da marca u-blox e modelo NEO-6M; uma câmera DSLR da marca Nikon e modelo D5300. O sistema foi instalado em uma aeronave agrícola de modelo EMB 202 – Ipanema, fabricado pela EMBRAER.

Para a confecção e configurações da caixa de comando do SDAFA, procederam-se as seguintes etapas: 1) configuração dos algoritmos de comandos, para estruturar o seguimento das funções dos componentes em uma sequência lógica; 2) fabricação das placas de circuito impresso, para reunir fisicamente os componentes.

Etapa 1) Configuração dos algoritmos de comando

Na etapa 1, utilizou-se uma sequência de comandos simples, a partir de conceitos de fotogrametria, para auxiliar o usuário a realizar o planejamento de voo e a captura das imagens de forma automática e prática.

O recobrimento entre duas imagens em sequência em uma faixa de voo é chamado de sobreposição longitudinal. Para tal, recomenda-se um valor de 60% para garantir uma qualidade de mosaico e uma operacionalidade à obtenção de imagens. Já o recobrimento de imagens entre duas faixas (transversalmente à direção de voo), chamada de sobreposição lateral, deve ser de pelo menos 30% (BRITO; COELHO, 2007). Para o presente estudo, utilizou-se os valores de 60 e 50% de sobreposições longitudinais e laterais respectivamente.

A fotografia aérea digital é um elemento bidimensional, possui dois lados distintos, compostos pela altura do sensor (As) e a largura do sensor (Ls). O cálculo da resolução da fotografia na escala real do terreno, também conhecida como *Ground sampling distance* (GSD), pode ser calculada por meio da altura de voo, distância focal da lente da câmera e o tamanho do pixel no sensor da câmera (Equação 1). O tamanho do pixel μ pode ser calculado pela relação entre a dimensão de um dos lados do sensor da câmera e o número de pixels associado a este lado (Equação 2).

Para facilitar a configuração do SDAFA pelo usuário, optou-se por permitir a alteração da resolução desejada das fotos em relação ao terreno a partir do GSD e da velocidade do voo. Com o GSD definido pelo usuário, o SDAFA calcula a altura do voo em metros pela Equação 3. A seguir estão apresentadas as equações, 1, 2 e 3:

$$\bullet \quad GSD = \frac{H}{f} * \mu \quad \text{Equação 1}$$

$$\bullet \quad \mu = \frac{As}{Pa} = \frac{Ls}{Pl} \quad \text{Equação 2}$$

$$\bullet \quad GSD = \frac{H}{f} * \frac{As}{Pa} = \frac{H}{f} * \frac{Ls}{Pl} \quad \text{Equação 3}$$

Em que: GSD - projeção do pixel no terreno (m); H - altura do voo (m); μ - tamanho do pixel (mm); f - distância focal da lente (mm); As - altura do sensor (mm); Ls - largura do sensor (mm); Pa - número de pixels de As; Pl - número de pixels de Ls.

O tempo entre as fotos (T) é calculado pelo sistema para controlar o disparo automático da câmera. Este tempo depende, além do GSD, da velocidade do voo (V) configurada pelo usuário e da sobreposição longitudinal das fotos (Sa). A largura entre as passadas (L) é a distância mínima necessária entre as linhas de voo para que seja respeitada a sobreposição lateral (Sl). Para cálculo do tempo e largura, foram utilizadas as Equações 4 e 5, respectivamente:

$$\bullet \quad T = \frac{(GSD * Pa * (1 - \frac{Sa}{100})) * 3,6}{V} \quad \text{Equação 4}$$

$$\bullet \quad L = GSD * Pl * (1 - \frac{Sl}{100}) \quad \text{Equação 5}$$

Em que: T é o tempo entre fotos seguidas (s), Sa é a sobreposição longitudinal (%), V é a velocidade do voo (km/h), L é a largura entre passadas (m) e Sl a sobreposição lateral das imagens (%).

No SDAFA foram utilizados dois microcontroladores ATmega328p, que dividiram as funções de interface e

controle das funções de aquisição e armazenamento de dados do receptor GNSS. A relação entre os principais elementos do SDAFA do presente estudo, está representada na Figura 1.

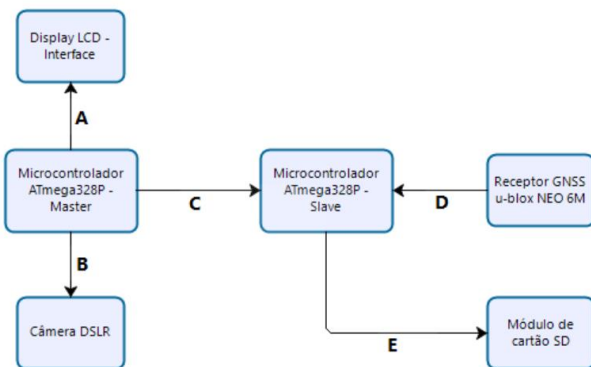


Figura 1. Relação entre os principais elementos do sistema de disparo automático de fotografias aéreas (SDAFA).

Em que: A - controle da interface; B - controle do tempo de disparo entre fotos da câmera; C - envio de solicitação para aquisição da coordenada referente a foto disparada; D - envio da posição pelo Receptor GNSS; E - armazenamento das informações de coordenadas no cartão de memória. Fonte: Autor (2019).

O microcontrolador principal, definido como “Master”, tem papel de controlar a interface de configuração do sistema, permitindo que o usuário configure o GSD desejado e a velocidade de voo que será utilizada. Assim, em seguida, o sistema calcula e apresenta a altura de voo e a distância entre as passadas. A partir do tempo calculado entre as fotos, o sistema controla os disparos da câmera e envia um comando ao microcontrolador secundário, denominado “Slave”.

O microcontrolador secundário tem função de receber a solicitação do “Master”, solicitar e receber as informações do receptor GNSS em forma do protocolo de comunicação conforme NMEA (*National Marine Electronics Association*). Além disso, o Slave organiza as coordenadas e salva as informações no cartão de memória via do módulo de cartão SD.

Etapa 2) Fabricação das placas de circuito impresso – PCI

Inicialmente, as camadas das placas de circuito impresso foram projetadas no software AUTODESK EAGLE versão 8.4.3. e impressas em papel transparente.

A confecção das placas de circuito impresso (PCI) seguiu o procedimento de foto-transferência de acordo com (BASSAN; CUSTÓDIO, 2014).

Verificação do funcionamento do SDAFA e comparação da determinação de falhas de plantas com mosaico de imagens obtidas com sensor embarcado em ARP

Para verificar o funcionamento do SDAFA do presente estudo foram efetuados voos teste na a área de estudo, com uso de um de avião agrícola. Em seguida, as imagens foram processadas e verificada a qualidade do mosaico obtido.

O mosaico foi obtido a partir do processamento das imagens no *software* PhotoScan, que utiliza modelos matemáticos de visão computacional, principalmente a técnica *Structure From Motion* (SFM) para realizar a reconstrução estereoscópica (VERHOEVEN, 2011).

Além disso, foram comparadas algumas configurações de voo para avaliar as diferenças entre a utilização do sistema eletrônico acoplado ao avião agrícola e uma ARP da marca DJI, modelo Mavic Pro Platinum. Foram levantadas as informações técnicas e comparadas entre as duas formas de aquisição de imagens e determinações de falhas de plantas, por ARP e o sistema do SDAFA.

Área de estudo

Foram utilizados dois talhões (A e B) de cultura de cana-de-açúcar, com espaçamento entre linhas de 1,5 m, situados na Fazenda Santa Tereza, no município de Acreúna, no estado de Goiás (Figura 2).

O talhão A consiste em uma plantação jovem, possui uma área de 40,6 há e a altura média de plantas de é de 0,25 m. O talhão B consiste na plantação em um estágio de desenvolvimento da cana mais avançado do que o talhão A, com altura de planta com cerca e 1,80 m, em uma área de 39,5 ha. O plantio do talhão A foi dado por meio de transplante de mudas. Já o talhão B foi formado por meio da rebrota das soqueiras da cana-de-açúcar.

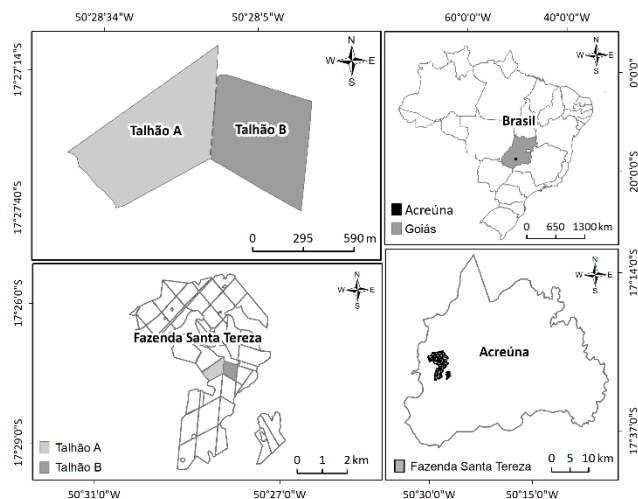


Figura 2. Localização da área de estudo do presente trabalho.

Experimento para identificação das linhas e cálculo das falhas de estabelecimento de estande de cana

Para analisar a possibilidade de uso do SDAFA para identificação de linhas e cálculo de falhas de estabelecimento de estande na cultura de cana-de-açúcar em diferentes estágios de desenvolvimento, bem como, encontrar a forma mais precisa de estimar as falhas entre as diferentes formas aquisições de imagens, o presente estudo realizou um experimento. A estruturação do experimento foi a mesma para o talhão A e B, e pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1. Estrutura do experimento para avaliar métodos distintos de identificação de linhas e cálculo de falhas de plantas de cana-de-açúcar, situado em Acreúna, Goiás.

Exp	Forma de aquisição de imagens	Forma de cálculo de falha	Re p
TE	-	Manual	21
T1	Sensor do ARP	Semiautomático	21
T2		Automático	21
T3	SDAFA embarcado em avião	Semiautomática	21
T4	agrícola	Automático	21

Em que: Exp - experimento; T- tratamento, Rep – repetição; ARP – aeronave remotamente pilotada; SDAFA - sistema de disparo automático de fotografia aérea.

Foram instaladas duas parcelas de 30 m por 30 m, que abrangeu 21 linhas de plantio. Sendo que a parcela 1 foi instalada no talhão A, e a parcela 2 no talhão B. A mensuração das linhas no tratamento testemunha foi

efetuada em campo com apoio de trena, ficha de campo, prancheta e lápis. A mensuração de falhas das culturas de cana foi efetuada para cada linha, conforme metodologia descrita por Stolf (1986), e calculado por meio de uma planilha eletrônica do office, Excel.

Para cada talhão, a partir das imagens obtidas por SDAFA e por ARP, a identificação de linha e o cálculo de falhas foram efetuados de maneira semiautomática e automática para cada linha de cada parcela.

No cálculo semiautomático das falhas, utilizou-se do software QGIS 2.18.27 para desenho manual das linhas de cana sobre o mosaico georreferenciado por meio da ferramenta de edição em uma nova camada *Shapefile* do tipo linha. Estas linhas foram utilizadas para orientar a função de extração das falhas de estabelecimento do estande.

Para o cálculo automático das falhas, a definição das linhas de cana foi feita de forma automatizada por um algoritmo, não necessitando de intervenções manuais para desenho das linhas. Este algoritmo foi desenvolvido na plataforma de programação R.

Foram realizadas algumas etapas para extrair as informações de linhas e falhas de cana dos mosaicos, sendo elas a conversão da imagem para o sistema de coordenadas em projeção cartográfica *Universal Transverse Mercator* (UTM), cálculo de um índice de vegetação o *Green Leaf Index* (GLI), classificação de pixels de acordo com o GLI em solo e cana, conversão dos pixels classificados para polígonos dissolvidos, definição de linhas de cana pelos métodos semiautomático e automático e cálculo das falhas.

O GLI foi calculado de acordo com a Equação 6 (GOODBODY et al., 2018), a partir das bandas extraídas da imagem digital aérea, composta por três bandas espectrais na faixa do visível, *Red*, *Green* e *Blue* (RGB).

$$GLI = \frac{2*Green-Red-Blue}{2*Green+Red+Blue} \quad \text{Equação 6}$$

Em que: Green - banda verde; Red - banda vermelho; Blue - banda azul.

Para identificação automática das linhas, utilizou-se do arquivo do contorno dos pixels classificados como cana. Primeiramente foram removidas áreas inferiores a 0,01 m² e depois foram gerados pontos centralizados sobre os polígonos de cana, de acordo com método de buffer negativo.

Foi então gerada a menor área convexa dos pontos, gerado um buffer negativo para filtragem dos pontos a serem utilizados para encontrar o ângulo médio;

O método para determinação do ângulo médio se baseia em selecionar os pontos com valores de coordenadas X e Y máximo e mínimo. Após a seleção dos pontos, gerou-se uma borda a partir de um raio para selecionar os polígonos de cana próximos aos pontos. Então utilizou-se do ângulo da maior área de intersecção entre as linhas geradas de 0 a 180 graus sobre o círculo dos polígonos de cana.

Com o ângulo médio, rotacionou-se todos os pontos, para que o ângulo médio encontrado fosse paralelo ao eixo X das coordenadas. A partir dos dados rotacionados, agrupou-se os pontos de acordo com o valor de Y, gerando então uma equação de reta para cada grupo de pontos. Gerou-se então as linhas a partir dos pontos agrupados.

As variáveis coletadas em cada tratamento foram os segmentos de falhas de plantas, e para a análise estatística do presente estudo para determinar o melhor tratamento foram utilizadas as variáveis: número segmentos de falha; comprimento total de falhas (m); porcentagem de falhas (%); comprimento médio de falhas (m); comprimento mínimo de falhas (m); comprimento máximo de falhas (m).

Análise estatística

As variáveis foram analisadas quanto a normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, o mais indicado para este estudo por apresentar mais de 30 observações. No entanto, os dados apresentaram distribuição não normal a um nível de significância de 5% de probabilidade.

Neste sentido foi efetuada uma análise não paramétrica, com o uso do teste de Friedman, para verificar se existe diferenças, ao nível de significância de 5% de probabilidade, entre as variáveis do estudo dentro das parcelas 1 e 2. Quando a hipótese nula do teste de Friedman for rejeitada, prosseguiu-se com o teste *post-hoc* de Nemenyi para comparações múltiplas entre os tratamentos (DEMSAR, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caixa de comando do sistema

Na Figura 3 mostra o resultado de todos os componentes eletrônicos, utilizados no presente estudo,

reunidos na placa de circuito impresso para o funcionamento da caixa de comando do SDAFA.

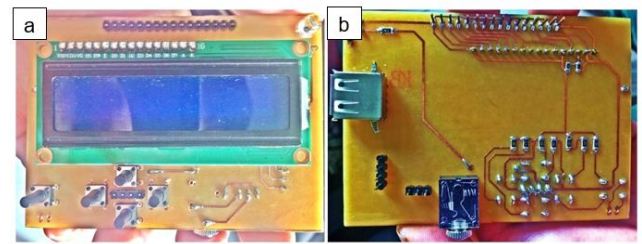


Figura 3. Sistema eletrônico da caixa de comando para o sistema de disparo de fotos automático a ser acoplado em um avião agrícola. Em que: a - vista frontal da placa de comando; b - vista posterior da placa de comando.

Fonte: Autor (2019).

A caixa de comando do sistema em interface homem máquina (IHM) é observado na Figura 4. Em que, apresenta as seguintes constituições em sua parte frontal (Figura 4a): i) botão de liga/desliga o disparo do sistema; ii) botão de retornar página do visor; iii) botão de avançar página do visor; iv) botão de incrementar positivo; v) botão de incrementar negativo; vi) LED indicador de status do sistema; vii) tela de visualização, que apresenta o número da página atual demonstrada no canto direito do visor.

Os botões da caixa de comando sevem para navegar entre as páginas do sistema, sendo que na tela de visualização é possível observar as seguintes páginas: página inicial e sistema de disparo desligado (Figura 4b); página de configuração de resolução espacial desejada em cm por pixel (Figura 4c); página de configuração de velocidade da aeronave (Figura 4d); página de visualização da altura de voo em pés (Figura 4e); página de visualização da altura do voo em metros (Figura 4f); página de visualização da distância entre as passadas paralelas do voo (Figura 4g); página de configuração do incrementador (Figura 4h); página de visualização do tempo calculado de disparo entre as fotos (Figura 4i).

Conforme observado na descrição dos resultados das interfaces da caixa de comando, foi possível efetuar a configuração pelo usuário de maneira satisfatória. Desta forma, observa-se o sucesso do funcionamento das placas de circuito e a configuração dos algoritmos de comando implementados no presente estudo.



Figura 4. Funções da caixa de comando do sistema de sistema de disparo de fotos automáticas a ser acoplado em um avião agrícola.

Em que: a - frente da caixa de comando, sendo: i) botão de liga/desliga disparo; ii) botão de retornar página do visor; iii) botão de avançar página do visor; iv) botão de incrementar positivo; v- botão de incrementar negativo; vi) LED indicador de status do sistema; vii) número da página atual demonstrada no visor; b- página inicial e sistema de disparo desligado; c- página de configuração de resolução espacial desejada em cm por pixel, d - página de configuração de velocidade da aeronave, e - página de visualização da altura de voo em pés, f - página de visualização da altura do voo em metros, g - página de visualização da distância entre as passadas paralelas do voo, h - página de configuração do incrementador, i - página de visualização do tempo calculado de disparo entre as fotos. Fonte: Autor (2019).

Sistema de disparo automático de fotografia aérea

O sistema de disparo automático de fotografia aérea (SDAFA) desenvolvido no presente estudo é apresentada na Figura 5. Este é composto por uma caixa de comando (Figura 5a) que possui três conectores para cabos conectados: a) um no lado esquerdo, que se conecta a uma fonte de energia, a bateria; b) um no lado direito, qual se conecta o dispositivo de localização geográfica, que é um receptor GPS; c) um na parte inferior, que liga ao dispositivo de captura das imagens, uma câmera Nikon D5300.

Para verificação do sistema, instalou-se o equipamento em uma aeronave agrícola de modelo (Figura 5b). A

câmera fotográfica foi instalada abaixo da aeronave no interior de uma caixa metálica (Figura 5c).

A caixa metálica tem abertura ao fundo para permitir a visibilidade da lente da câmera, e além de suporte da câmera, também tem função de proteção do dispositivo fotográfico. A câmera foi posicionada a 90 graus referente ao solo, para a geração de fotografia aéreas digitais verticais. Enquanto, a caixa de comando foi instalada no painel de controle do avião (Figura 5d), onde o GPS foi fixado no para-brisa da aeronave na altura permitida pelo comprimento do cabo e a bateria foi alocada na parte inferior da cabine do avião, para não comprometer as operações do piloto.

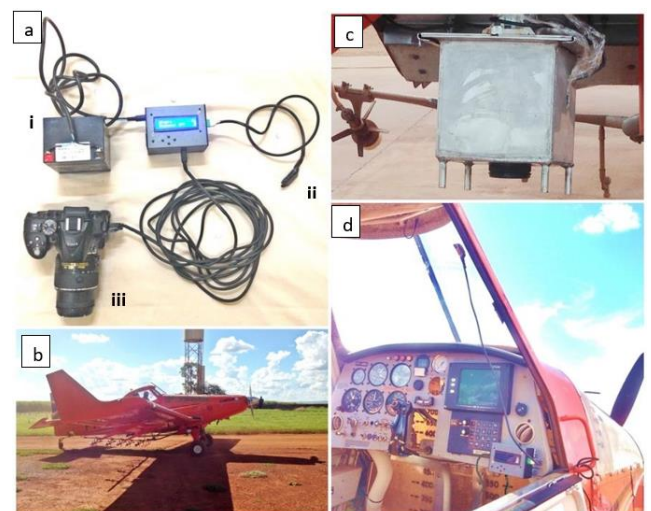


Figura 5. Sistema de disparo de fotos automático acoplado em um avião agrícola.

Em que: a - sistema de disparo automático de imagem fotográfica, conectado a uma fonte de energia (i, bateria de Chumbo: u-blox, NEO-6M, 12v), um o dispositivo de localização geográfica (ii, GPS u-blox NEO-6M) e um o dispositivo de captura das imagens (iii, câmera: DSLR Nikon D5300); b - avião agrícola; c - caixa metálica de suporte a câmera do sistema; d - caixa de comando, gps e caixa de energia, instalados no interior do avião. Fonte: Autor (2019).

A utilização de sistemas eletrônicos para automação de processos com uma IHM tem sido estudada com sucesso em diversas áreas na agricultura. Podendo citar os trabalhos de Silva et al. (2015) para automatizar um consolidômetro, para avaliação do estado de consolidação do solo; Teruel et al. (2008) para controle de processos de resfriamento com ar forçado aplicáveis para operação em propriedades agrícolas.

Na área de fotogrametria, também é encontrado trabalho que apresentam bons resultados de aquisição de imagens aéreas, como trabalho de (RUY, 2008), que desenvolveu um sistema de aquisição de imagens digitais, formado por câmaras digitais de médio formato integradas a sensores de orientação direta, dispositivos eletrônicos e interfaces de hardware e software.

Verificação do funcionamento do sistema

A partir do voo teste realizado sob a região da área de estudo obteve-se 625 fotografias aéreas digitais que foram associadas as coordenadas armazenadas pelo sistema no cartão SD, no arquivo “GPS.txt”, através de um script na linguagem R, e processadas em um software de fotogrametria para gerar mosaico de imagens da área de estudo na fazenda por meio do processamento de mosaicagem (Figura 6a).

Foram também comparadas as áreas de terreno capturadas pelas fotografias obtidas pelos dois sistemas, sendo que a área aproximada que uma imagem pelo SDAFA embarcado em avião agrícola, foi de 10,64 hectares

(266 x 400 metros), e de 5,247 hectares (198 x 265 metros) para a ARP. Esta relação pode ser observada na Figura 6b.

Na Figura 7, é possível observar a comparação visual entre as duas imagens mosaicadas de cada parcela, uma fotografada por sistema eletrônico acoplado ao avião agrícola (A e B) e outra por ARP DJI, Mavic Pro Platinum (C e D). Houve maior recobrimento de área com a fotografia obtida pelo SDAFA em relação a do sensor embarcada na ARP.

A mosaicagem consiste no procedimento de efetuar a junção de várias imagens georreferenciadas (BRITO; COELHO, 2007). Este procedimento é comprometido quando as imagens apresentam algum problema no momento da captura da foto devido motivos adversos, como por exemplo, configuração errada ou erro mecânico no sistema de aquisição de imagens. Situação na qual não ocorreu com as imagens obtidas pelo sistema desenvolvido pelo presente estudo. Desta forma, é possível verificar a qualidade das imagens adquiridas pelo sistema desenvolvidos no presente estudo.

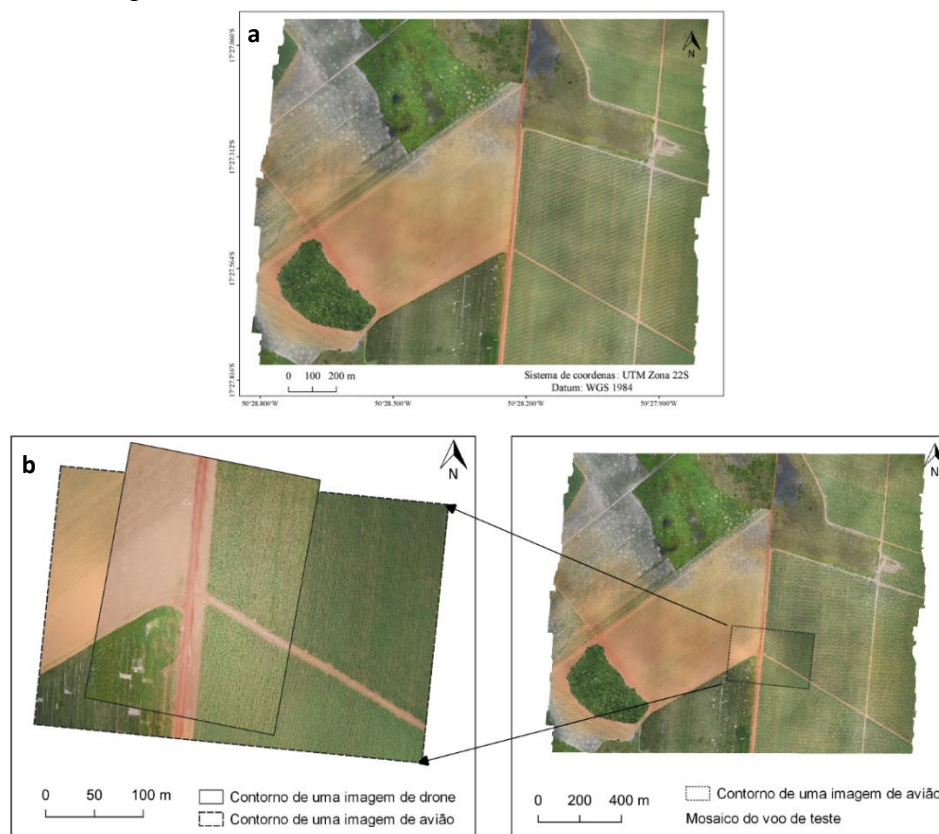


Figura 6. Mosaico da área de estudo efetuada por meio do voo teste e o uso do sistema desenvolvendo no presente estudo (a) e diferença dimensionais da cena de uma fotografia obtida pelo SDAFA e outra pelo sensor embarcado na ARP (b).
 Fonte: Autor (2019).

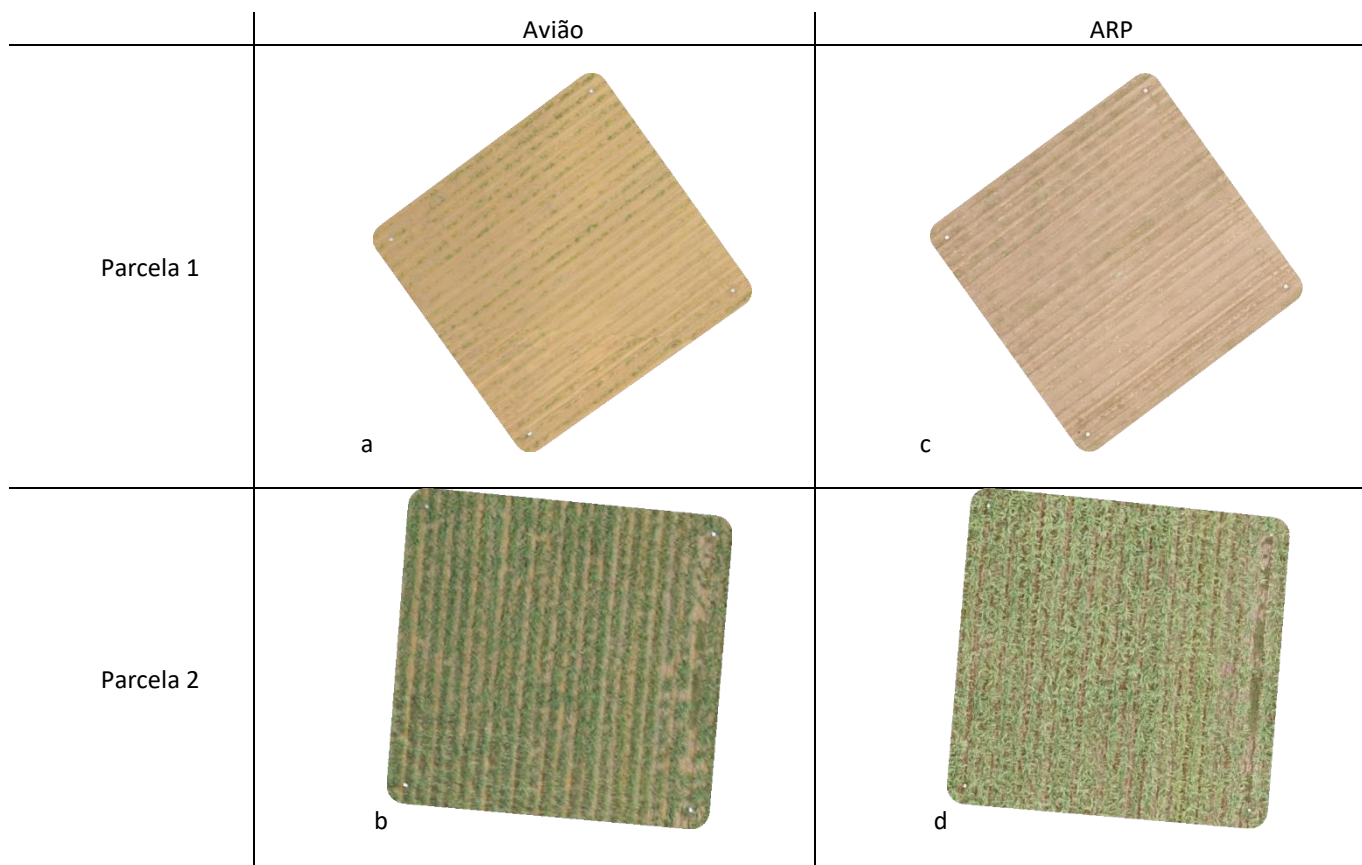


Figura 7. Comparação visual entre as imagens mosaicas para parcela 1 e 2, ambas com dimensão de 30 m por 30 m. Em que: Imagem por sistema eletrônico acoplado ao avião agrícola no talhão A (a) e talhão B (b) e Imagem obtida por sensor embarcado em ARP DJI, Mavic Pro Platinum no talhão A (c) e talhão B (d).

As características dos sensores e plataforma de aquisição imagens utilizadas no presente estudo estão mostradas no Quadro 1.

Quadro 1. Comparação entre as configurações do avião agrícola e ARP.

Descrição	Avião	ARP
Plataforma	EMB 202 – Ipanema	Mavic Pro Platinum
Autonomia	2h30m	0h27m
Velocidade	180km/h	45km/h
Tipo do sensor	CMOS	CMOS
Tamanho do sensor	23.5 x 15.6 mm	6.17 x 3.47 mm
Dimensões do sensor	6000 x 4000 px	4096 x 2160 px
Resolução radiométrica	8 bits	8 bits
Distância focal	18 mm	4.73 mm

Em que: ARP - Aeronaves Remotamente Pilotadas; px – Pixel. Fonte: Autor (2019).

Comparado a outros sistemas de imageamento aéreo, a utilização do sistema de aquisição de imagens desenvolvido neste trabalho, garante maior autonomia de voo, permitindo o mapeamento de áreas maiores e maior velocidade de deslocamento da plataforma. O aumento da velocidade de deslocamento e distância entre as passadas permite que o imageamento seja feito em menor tempo, possibilitando menor variação de fatores atmosféricos. Fatores como o sombreamento por nuvens e intensidade de radiação solar podem comprometer a qualidade do mosaico final.

Além disso, a vantagem do sistema é a maior cobertura de imagens aéreas para área de interesse, devido a maior velocidade de deslocamento, maior tempo de voo e capacidade de suporte a sensores mais pesados e com maior resolução em relação aos ARP.

Outro ponto positivo é a utilização do avião agrícola como plataforma de imageamento aéreo, que possibilita o maior aproveitamento do piloto e da aeronave fora das épocas de aplicação aéreas de insumo e maior distância de voo, pois não depende do alcance de um rádio controle.

Apesar das vantagens descritas para o uso de avião agrícola no imageamento agrícola, não se descarta possibilidade de utilização da ARP em apoio nessa tarefa. Pois, as ARP, que apresentam um menor custo de voo em relação ao avião, podem efetuar um primeiro voo para detectar previamente as áreas suspeitas de falhas no campo visual através da transmissão de imagens de vídeo em tempo real para então selecionar um ou mais talhões de interesse (MARCHIORI; TREVISAN, 2017).

Análise dos dados

O teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov mostrou que quase todas as variáveis rejeitaram a hipótese de normalidade. Neste sentido, utilizou-se da estatística não paramétrica para avaliação de diferença entre os grupos pelo teste de Friedman. Na Tabela 2 é possível observar os valores de *p-value* resultantes dessa análise para cada variável, nas parcelas 1 e 2.

Tabela 2. Valores de *p-value* para teste de Friedman (*p* = 0,05) para as variáveis do presente estudo nas parcelas 1 e 2, situadas nos talhões A e B, respectivamente.

Par	n	c_min	c_max	c_medio	c_total	porcentagem
1	0,784	0,900	3,16e-06	6,22e-08	2,09e-04	2,37e-04
2	0,351	0,670	0,609	0,057	0,150	0,127

Em que: Par - parcela, n - número de segmentos de falha; c_min - comprimento mínimo de falhas; c_max - comprimento máximo de falhas; c_medio - comprimento médio de falhas; c_total - comprimento total de falhas.

Para parcela 2 (talhão B, estande de cana mais velho, por soqueira), não houve rejeição da hipótese nula para todas as variáveis, portando, não houve diferença significativa entre os tratamentos e a testemunha (medidas de falhas a campo).

Enquanto, para a parcela 1 (talhão A, estande mais jovem), o teste de Friedman indicou que não houve diferença entre os tratamentos apenas para as variáveis comprimento mínimo de falhas (c_min) e o número de falhas (n). Para as demais variáveis, houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo necessário o uso de um método para comparações múltiplas pelo teste de

Nemenyi, com objetivo de identificar se existe diferença entre cada um dos tratamentos e a testemunha.

Os *p-values* do teste de Nemenyi estão apresentados na Tabela 3. Em que, para os dados da parcela 1 não apresentaram evidências de diferença significativa entre a testemunha e o tratamento 3 (linhas semiautomáticas identificadas pelas imagens do avião) para as variáveis de comprimento máximo (c_max), comprimento médio (c_medio), comprimento total (c_total) e porcentagem de falhas (porcentagem), com os valores de *p* valor de 0,290, 0,132, 0,995 e 0,999, respectivamente.

Tabela 3. Valores de *p-value* do teste de Nemenyi (*p* = 0,05) para variáveis de cada tratamento comparado com a testemunha da parcela 1, situada no talhão A, estande de cana mais jovem.

Tratamento	c_max	c_medio	c_total	porcentagem
1	3,85e-06	4,61e-07	0,003	0,008
2	4,00e-04	3,85e-06	0,011	0,008
3	0,290	0,132	0,995	0,999
4	0,021	0,011	0,820	0,866

Em que: c_max - comprimento máximo de falhas; c_medio - comprimento médio de falhas; c_total - comprimento total de falhas.

Também não apresentaram diferenças significativas entre a testemunha e o tratamento 4 (linhas automáticas identificadas pelas sistema do avião) para as variáveis de comprimento total (c_total), com *p-value* igual a 0,820 e porcentagem (porcentagem), com *p-value* de 0,866 (Tabela 3).

Deste modo, as variáveis c_max, c_medio, c_total e porcentagem, quando estimadas por método semiautomático no mosaico de imagens obtidas pelo SDAFA embarcado no avião agrícola, são as recomendadas para auxiliar no monitoramento das falhas de plantio em cultura de cana-de-açúcar em um estágio de desenvolvimento semelhante ao talhão A, do presente estudo. Enquanto, para este mesmo estágio de desenvolvimento, é recomendado as variáveis c_total e porcentagem de falhas, por detecção das falhas de forma automática pelo algoritmo proposto pelo presente estudo.

Na plantação de cana do talhão A nem todas as variáveis das falhas calculadas pelas imagens SDAFA apresentaram semelhança significativa estatisticamente com a testemunha. Isto pode estar relacionado com a justificativa de que o estágio do desenvolvimento da

lavoura do talhão A, por conter plantas mais jovens, pode dificultar a distinção das falhas de plantas.

Por outro lado, o sucesso de todas as variáveis ter sido estatisticamente semelhante com as medidas em campo no talhão B, possivelmente seja explicado por este talhão possuir uma maior biomassa vegetativa, do que o talhão A. O que permitiu uma melhor detecção espectral pelos sensores de aquisição de imagens do SDAFA. Isto é, foi detectado um melhor contraste entre as plantas e o solo, consequentemente das falhas. Vale ressaltar que um índice de vegetação, GVI, foi utilizado para auxiliar na composição dos algoritmos de detecção de falhas.

Em geral, os resultados mostram que o SDAFA, desenvolvido no presente estudo, se mostrou uma eficiente ferramenta para imageamento da lavoura com fins para cálculo de falhas de cana-de-açúcar em dois estágios de desenvolvimento de cultura.

É importante destacar que conforme os resultados do uso do algoritmo combinado com o SDAFA, desenvolvidos no presente estudo, consistem em uma ferramenta inovadora para auxiliar na tomada de decisão para replantio, mesmo em estágio da plantação jovem como o talhão A. Bem como, foram obtidos bons resultados tanto para um estande de cana estabelecido por transplante de mudas (talhão A), quanto por soqueiras (talhão B).

Arantes *et al.* (2019) afirma por meio das identificações das falhas é possível estimar o quanto de produtividade o talhão está perdendo, pois, é possível estimar a porcentagem de falhas. Desta forma, é enfatizado a relevância das ferramentas desenvolvidas no presente estudo no ganho ao manejo da cultura de cana, já que, estas foram capazes de estimar a variável porcentagem de falhas do plantio, em dois estágios de desenvolvimento, de forma estatisticamente semelhante aos resultados manualmente.

Marchiori e Trevisan (2017) efetuaram de forma satisfatória a quantificação de falhas de cana via SIG, por meio de imagens adquiridas por sensor em aeronave de asa rotativa do tipo hexacóptero. Entretanto, para grandes áreas existe um certo trabalho pelo fato de a identificação de linhas sobre as falhas ser efetuada manualmente, semelhante ao tratamento semiautomático do presente estudo. Dificuldade essa solucionada quando utilizada o algoritmo de automático desenvolvido no presente estudo.

Arantes *et al.* (2019) também obtiveram de forma semiautomática a identificação de falhas de plantio, de

linhas de plantio e da contagem de plantas, porém, para cultura de mandioca, por meio do Qgis utilizado dados de obtidos por sensor embarcado uma ARP de asa rotativa. Os autores ressaltam que na cultura de mandioca a contagem é facilitada quando a planta está em um estágio mais precoce, por que em estágio vegetativo mais avanço as copas tendem a juntarem dificultando a contagem.

Já na cultura do presente estudo mostrou que a contagem de falha de estabelecimento do estande mais jovens como talhão A podem dificultar a distinção da presença de plantas nas imagens, quando comparado a um estande mais avançado como talhão B. Entretanto, não se recomenda também efetuar o imageamento em estandes de cana em estágio muito avançado pois a planta tende a perfilhar e as folhas sobreporem as falhas atrapalhando a visualização.

Souza (2017) encontrou em seu estudo as linhas de plantio de café de maneira automática, utilizando-se de algoritmo de processamento de imagens. Na qual, o algoritmo utilizado por este autor se assemelha com o presente estudo por utilizar as técnicas de segmentação, geração de nuvens de ponto e vetorização das linhas a partir da disposição desta nuvem de pontos.

Alves *et al.* (2015) optou-se por utilizar por realizar a análise de porcentagem falhas de cana-de-açúcar a partir de fotografias individuais (Single Imagem) de ARP, pois, em seu trabalho não foi possível realizar a mosaicagem pela falta de sobreposição entre as imagens. Além disso, o método de cálculo da porcentagem de falhas consistiu na relação entre o número de pixels classificadas como planta e o número de pixels totais. O método de classificação utilizada pelos autores foram a Máxima Verossimilhança definindo cana-de-açúcar e solo como as classes analisadas nas imagens.

Em comparação com o presente estudo, no estudo Alves *et al.* (2015) não permite quantificar as falhas em termos de comprimento e número de segmentos de falhas. Sendo que no presente estudo, é possível obter além da porcentagem de falhas, outras características como o comprimento médio, mínimo, máximo, desvio e variância dos segmentos de falha. Bem como, permite a localização dos diferentes comprimentos de segmentos de falhas de planta na qual pode permitir a combinação de outras camadas de informações, como os referentes ao solo, para enriquecer a análise da área e obter melhor manejo desta.

CONCLUSÕES

O presente trabalho obtém as seguintes conclusões:

- 1) O sistema de disparo automático de fotografia aérea (SDAFA), desenvolvido no presente estudo, permite adquirir imagens de qualidade satisfatórios, de maneira permitir o georreferenciamento e a mosaicagem;
- 2) O algoritmo desenvolvido para identificação automática de falha de plantas nas linhas de estabelecimento de estande de cana-de-açúcar apresenta um desempenho satisfatório para os ambos experimentos, exceto, para algumas variáveis do tratamento 3 e 4 da parcela 1 do talhão A.
- 3) O algoritmo e o SDAFA, desenvolvidos no presente estudo, consistem em novas ferramentas recomendadas para auxiliar no monitoramento de lavouras de cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M. O.; FERREIRA, R. V.; GALLIS, R. B. DE A.; OLIVEIRA, J. V. M. O Uso de Imagens do “Drone Agrícola” para Identificação de Falhas no Plantio de Cana-de-Açúcar. In: VII Simpósio Tecnologia de Produção de Cana-de-Açúcar. **Anais...** Piracicaba: Esalq, 2015.
- ARANTES, B. H. T.; ARANTES, L. T.; COSTA, E. M.; VENTURA, V. A. Drone aplicado na agricultura digital drone applied in digital agriculture. **Ipê Agronomic Journal**, v. 3, p.14–18, 2019.
- BAGHERI, N. Development of a high-resolution aerial remote-sensing system for precision agriculture. **International Journal of Remote Sensing**, v. 38, n. 8–10, p. 2053–2065, 2017.
- BASSAN, G. M.; CUSTÓDIO, L. P. **Confecção de placas de circuito impresso pelo processo de fototransferência**. 2014.
- BORBA, M. M. Z.; BAZZO, A. M. Estudo econômico de ciclo produtivo da cana-de-açúcar para reforma de canavial, em área de fornecedor no Estado de São Paulo. 47 CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2009.
- BRITO, J.; COELHO, L. **Fotogrametria Digital**. 1o ed. Rio de Janeiro: UERJ, 2007.
- CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira - cana-de-açúcar - safra 2019/2020**. 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>>. Acesso em: 20/1/2019.
- DEMARSAR, J. Statistical comparisons of classifiers over multiple data sets. **Journal of Machine Learning Research**, v. 7, p. 1–30, 2006.
- FARIA, J. A. A. DE. **O trabalho do avião agrícola: a atividade de pulverização aérea sob uma perspectiva ergonômica**, 2017. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2017.
- GARCIA-RUIZ, F.; SANKARAN, S.; MAJA, J. M.; et al. Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 91, p. 106–115, 2013.
- MARCHIORI, L. F. S.; TREVISAN, H. M. Levantamento de falhas na cultura de cana-de-açúcar por veículo aéreo não tripulado (VANT). In: L. M. Júnior; D. Stevens; W. T. L. da Silva; et al. (Orgs.); **JC na Escola Ciência, Tecnologia e Sociedade: Mobilizar o Conhecimento para Alimentar o Brasil**. 2ª ed, p.500, 2017. São Paulo: Centro Paula Souza.
- MOLIN, J. P.; VEIGA, J. P. S. Spatial variability of sugarcane row gaps: measurement and mapping. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 3, p. 347–355, 2016.
- OSROOSH, Y.; KHOT, L. R.; PETERS, R. T. Economical thermal-RGB imaging system for monitoring agricultural crops. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 147, n. August 2017, p. 34–43, 2018.
- RUY, R. DA S. **Desenvolvimento e validação geométrica de um sistema para mapeamento com câmaras digitais de médio formato**. 2008. 229f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP, 2008.
- SILVA, R. B. DA; MASQUETO, B. J.; LANÇAS, K. P.; SILVA, F. A. DE M. Desenvolvimento, automação e desempenho de um consolidômetro com interface homem-máquina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 416–427, 2015.
- SOUZA, I. R. **Identificação de linhas de plantio em imagens aéreas de lavouras**. 2017. 43f. TCC (Graduação em Engenharia Mecânica) –Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2017.
- STOLF, R. Metodologia de avaliação de falhas nas linhas de cana-de-açúcar. **STAB**, v. 4, p. 22–36, 1986.

TERUEL, B.; SILVEIRA, P.; MARQUES, F.; CAPPELLI, N. Interface homem-máquina para controle de processos de resfriamento com ar forçado visando à economia de energia. **Ciência Rural**, v. 38, n. 3, p. 705–710, 2008.

VERHOEVEN, G. Taking ComputerVision Aloft - Archaeological Three-dimensional Reconstructions from Aerial Photographs with PhotoScan. **Archaeological Prospection**, v. 18, p. 67–73, 2011.

3 CONCLUSÃO

O SDAFA embarcado em avião agrícola apresentou bom desempenho ao registrar as coordenadas e comandar os disparos do sensor, permitindo a aquisição de imagens seguindo os princípios de sobreposições longitudinais e laterais da fotogrametria digital.

A interface homem máquina da caixa de comando permitiu a configuração dos parâmetros de voo de forma otimizada, facilitando o planejamento do voo a partir de poucas variáveis e de simples entendimento. Apenas com o GSD desejado e a velocidade de voo, foi possível obter as informações de altura de voo em metros ou pés e a distância entre as passadas em metros.

As imagens obtidas pelo SDAFA em conjunto com o algoritmo de identificação de linhas e cálculo falhas, podem auxiliar no manejo da cultura da cana-de-açúcar, através da estimação da porcentagem de falhas da lavoura.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ALVES, M. O.; FERREIRA, R. V.; GALLIS, R. B. DE A.; OLIVEIRA, J. V. M. O uso de imagens do “drone agrícola” para identificação de falhas no plantio de cana-de-açúcar. In: VII Simpósio Tecnologia de Produção de Cana-de-Açúcar. **Anais...** Piracicaba: Esalq, 2015.
- ARANTES, B. H. T.; ARANTES, L. T.; COSTA, E. M.; VENTURA, V. A. Drone aplicado na agricultura digital drone applied in digital agriculture.. **Ipê Agronomic Journal**, v. 3, p.14–18, 2019.
- BAGHERI, N. Development of a high-resolution aerial remote-sensing system for precision agriculture. **International Journal of Remote Sensing**, v. 38, n. 8–10, p. 2053–2065, 2017.
- BARATA, M. Q. F. **Otimização econômica do corte e reforma de canaviais**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 1992.
- BASSAN, G. M.; CUSTÓDIO, L. P. **Confecção de placas de circuito impresso pelo processo de fototransferência**. 2014.
- BORBA, M. M. Z.; BAZZO, A. M. Estudo econômico de ciclo produtivo da cana-de-açúcar para reforma de canavial, em área de fornecedor no Estado de São Paulo. 47 CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2009.
- BRAMLEY, R. G. V. Lessons from nearly 20 years of Precision Agriculture research, development, and adoption as a guide to its appropriate application. **Crop and Pasture Science**, v. 60, n. 3, p. 197, 2009.
- BRITO, J.; COELHO, L. **Fotogrametria digital**. 1o ed. Rio de Janeiro: UERJ, 2007.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; CÂMARA, G. **Introdução: por que geoprocessamento?** São José dos Campos: INPE / DPI, 2001.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE / DPI, 2002.
- CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento remoto e processos de imagens digitais**. Curitiba: UFPR, 2009.
- CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira - cana-de-açúcar - safra 2019/2020**. 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>>. Acesso em: 20/1/2019.
- CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1992.
- D'ALGE, J. C. L. **Cartografia para geoprocessamento**. Introdução à Ciência da Geoinformação, 2002. São José dos Campos: INPE / DPI.
- DEMSAR, J. Statistical comparisons of classifiers over multiple data sets. **Journal of Machine**

Learning Research, v. 7, p. 1–30, 2006.

EVLYN M. L. DE MORAES NOVO. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2010.

FARIA, J. A. A. DE. **O trabalho do avião agrícola: a atividade de pulverização aérea sob uma perspectiva ergonômica**, 2017. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2017.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GARCIA-RUIZ, F.; SANKARAN, S.; MAJA, J. M.; et al. Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 91, p. 106–115, 2013.

GOIÁS. Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. **Mapa Geomorfológico do Estado de Goiás: Relatório Final**. Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br/downloads/geomorfologia.pdf>>. Acesso em: 17/1/2019.

GOODBODY, T. R. H.; COOPS, N. C.; HERMOSILLA, T.; et al. Digital aerial photogrammetry for assessing cumulative spruce budworm defoliation and enhancing forest inventories at a landscape-level. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 142, n. April, p. 1–11, 2018.

HUGENTOBLER, M. **Quantum GIS: Encyclopedia of GIS**. p.935–935, 2008.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1992.

LIU, W.; PENG, C.; WANG, F.; MO, W.; WAN, Z. Design of UAV airborne reconnaissance and rescue based on atmega2560. In: International conference on education, management, commerce and society. **Anais...** Atlantis Press, 2015.

LOCH, C. **Interpretação de imagens aéreas**. 5º ed. Florianópolis: UFSC, 2008.

MACHADO, T. M.; MOLIN, J. P. Ensaio estático e cinemático de receptores de GPS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 9, p. 981–988, 2011.

MARCHIORI, L. F. S.; TREVISAN, H. M. Levantamento de falhas na cultura de cana-de-açúcar por veículo aéreo não tripulado (VANT). In: L. M. Júnior; D. Stevens; W. T. L. da Silva; et al. (Orgs.); **JC na Escola Ciência, Tecnologia e Sociedade: Mobilizar o Conhecimento para Alimentar o Brasil**. 2º ed, p.500, 2017. São Paulo: Centro Paula Souza.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. **Agricultura de Precisão**. 2015.

MOLIN, J. P.; VEIGA, J. P. S. Spatial variability of sugarcane row gaps: measurement and mapping. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 3, p. 347–355, 2016a.

DE OLIVEIRA FILHO, P. C.; AGOSTINHO, F. Obtenção de fotografias aéreas de pequeno formato e videografia por meio de aeromodelo artesanal adaptado. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 9, n. 2, p. 151, 2018.

OSROOSH, Y.; KHOT, L. R.; PETERS, R. T. Economical thermal-RGB imaging system for monitoring agricultural crops. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 147, n. August 2017, p. 34–43, 2018.

PAZ, S. M.; CUGNASCA, C. E. **O Sistema de Posicionamento Global (GPS) e suas aplicações**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP - Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais, 1997.

RUY, R. DA S. **Desenvolvimento e validação geométrica de um sistema para mapeamento com câmaras digitais de médio formato**. 2008. 229f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP, 2008.

SIEG. **Sistema de informação estadual de Goiás - Downloads: SIG Shapefile**. Disponível em: <<http://www.sieg.go.gov.br/siegdownloads/>>. Acesso em: 17/1/2019.

SILVA, R. B. DA; MASQUETO, B. J.; LANÇAS, K. P.; SILVA, F. A. DE M. Desenvolvimento, automação e desempenho de um consolidômetro com interface homem-máquina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 416–427, 2015.

SOUZA, I. R. Identificação de linhas de plantio em imagens aéreas de lavouras. 2017. 43f. TCC (Graduação em Engenharia Mecânica) –Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2017.

STOLF, R. Metodologia de avaliação de falhas nas linhas de cana-de-açúcar. **STAB**, v. 4, p. 22–36, 1986.

TERUEL, B.; SILVEIRA, P.; MARQUES, F.; CAPPELLI, N. Interface homem-máquina para controle de processos de resfriamento com ar forçado visando à economia de energia. **Ciência Rural**, v. 38, n. 3, p. 705–710, 2008.

VERHOEVEN, G. Taking computervision aloft - archaeological three-dimensional reconstructions from aerial photographs with photostan. **Archaeological Prospection**, v. 18, p. 67–73, 2011.