



**DANIELA MIDORI KUBO TANABE**

**AVALIAÇÃO BIOMÉTRICA DA PRODUTIVIDADE DA  
CANA-DE-AÇÚCAR COM IMAGENS OBTIDAS VIA VANT**

**LAVRAS-MG  
2020**

**DANIELA MIDORI KUBO TANABE**

**AVALIAÇÃO BIOMÉTRICA DA PRODUTIVIDADE DA  
CANA-DE-AÇÚCAR COM IMAGENS OBTIDAS VIA VANT**

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

Prof. Dr. Guilherme Vieira Pimentel

**Orientador**

Me. Diego Dantas Amorim

**Coorientador**

**LAVRAS-MG  
2020**

**DANIELA MIDORI KUBO TANABE**

**AVALIAÇÃO BIOMÉTRICA DA PRODUTIVIDADE DA  
CANA-DE-AÇÚCAR COM IMAGENS OBTIDAS VIA VANT**

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

APROVADA em 28 de julho de 2020

Prof. Dr. Guilherme Vieira Pimentel UFLA

Me. Diego Dantas Amorim UFES

Me. Flavia Reis Sales UFLA



Guilherme Vieira Pimentel  
Professor  
Departamento de Agricultura  
Universidade Federal de Lavras

---

Prof. Dr. Guilherme Vieira Pimentel  
Orientador

**LAVRAS-MG  
2020**

## AGRADECIMENTOS

Ao final do curso, no trabalho de conclusão do mesmo, gostaria de expressar minha gratidão a todos que contribuíram nesta jornada de graduação, em especial aqueles que contribuíram de alguma forma neste trabalho.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade da graduação em Engenharia Agrícola.

Ao Professor, Guilherme Viera Pimentel, por ter dado a oportunidade, apoio, ensinamentos, e por principalmente acreditar na minha capacidade.

Aos Mestres, Diego Dantas Amorim e Flavia Reis Sales, que desde o primeiro contato me auxiliaram em tudo que foi necessário para a realização deste trabalho de conclusão.

Ao Centro Acadêmico de Engenharia Agrícola, que foi meu primeiro passo na desenvoltura profissional e pessoal.

Ao Programa de Ensino Tutorial, que potencializou minha vivência acadêmica fazendo com que me desafiasse a cada dia para se tornar uma acadêmica em seus pilares de ensino, pesquisa e extensão.

À Enagri Jr – Projetos e Consultoria Agrícola, que me ensinou a trabalhar sempre focada no planejamento de uma meta.

À Usina São Martinho que me deu a chance de estagiar e despertou minha paixão em realizar o presente estudo com a cultura de cana-de-açúcar.

À República Malagueta, que foram minhas irmãs e a base para que eu me transformasse na pessoa que sou hoje.

À minha família e amigos, que me deram apoio e contribuíram ativamente para que eu esteja finalizando o curso hoje. Em especial, Arthur Lewaschiw, que proporcionou experiências agregadoras para o devido trabalho.

**Muito Obrigada!**

## RESUMO

O cultivo de cana-de-açúcar tem grande importância na economia do Brasil e com isso as práticas agrícolas vêm passando por constantes renovações nos processos que envolvem o setor canavieiro. O Engenheiro Agrícola pode estar inserido no mesmo para a otimização desta produção, visando a qualidade do plantio e de maneira sustentável. A utilização das técnicas de agricultura de precisão juntamente com o sensoriamento remoto podem ser grandes aliados. Com isso, o estudo foi realizado no campo de produção de cana-de-açúcar da empresa Bocaina Agroindústria e Comércio de Cachaça Ltda, em Lavras/MG. Tendo como intuito indicar cultivares com elevado desempenho produtivo, por meio do imageamento espectral de sensores embarcado em veículo aéreo não tripulado (VANT). Através do qual, utilizou-se um drone de modelo Phantom 4 PRO e dois sensores multiespectrais FC6310 e Survey3W para a realização do cálculo de Índice da Diferença de Vegetação Normalizada (NDVI). Como resultado, obteve-se uma imagem adequada para análise do vigor de crescimento da vegetação, correlacionando assim, com os parâmetros biométricos analisados para as variedades CTC 4, CTC 9002, CTC 9003 e RB966928. As características avaliadas biometricamente foram classificadas de acordo com a severidade do patógeno conhecido como ferrugem marrom (*Puccinia melanocephala*). Foi medido o número de perfilhos por metro (C), diâmetro médio de colmo (D), altura média do colmo (H) e espaçamento entre linhas (E) para o cálculo de toneladas de cana por hectare (TCH). Todos os dados biométricos foram submetidos a análise de variância, realizado pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. Ao final do estudo mostrou que a CTC 9002 e RB966928 são variedades de grande potencial, devido as maiores produtividades estimadas obtidas aos 11 meses para a produção de cana-de-açúcar na região de Lavras/MG e juntamente com as técnicas de manejos eficientes aliado a agricultura de precisão geram uma proposta ideal para melhorar o rendimento da produção. Permitindo, uma maior rapidez de resultados e maior assertividade na tomada de decisão para projeções futuras do canavial e visando assim alcançar a chamada produtividade da cana de três dígitos.

**Palavras chave:** *Saccharum spp.*, NDVI, biometria, fotogrametria, rendimento.

## ABSTRACT

The cultivation of sugarcane is of great importance in the economy of Brazil and, as a result, agricultural practices have been undergoing constant renewals in the processes involving the sugarcane sector. The Agricultural Engineer can be inserted in it to optimize this production, aiming at the quality of planting and in a sustainable way. The use of precision farming techniques together with remote sensing can be great allies. Thus, the study was carried out in the sugarcane production field of the company Bocaina Agroindústria e Comércio de Cachaça Ltda, in Lavras / MG. In order to indicate cultivars with high productive performance, through the spectral imaging of sensors embedded in an unmanned aerial vehicle. Through which, a Phantom 4 PRO model drone and two FC6310 and Survey3W multispectral sensors were used to calculate the Normalized Vegetation Difference Index (NDVI). As a result, an adequate image was obtained for the analysis of vegetation growth vigor, thus correlating with the biometric parameters analyzed for the varieties CTC 4, CTC 9002, CTC 9003 and RB966928. The characteristics evaluated biometrically were classified according to the severity of the pathogen known as brown rust (*Puccinia melanocephala*). The number of tillers per meter (C), average stem diameter (D), average stem height (H) and row spacing (E) was measured to calculate tons of cane per hectare (TCH). All biometric data were subjected to analysis of variance, performed by the Scott-Knott test at 5% significance. At the end of the study, it showed that CTC 9002 and RB966928 are varieties of great potential for the production of sugarcane in the region of Lavras / MG and, together with the efficient management techniques combined with precision agriculture, generate an ideal proposal for improve production yield. Allowing faster results and greater assertiveness in decision-making for future sugarcane projections and thus aiming to achieve the so-called three-digit sugarcane productivity.

**Palavras chave:** *Saccharum spp.*, NDVI, biometrics, photogrammetry, yield.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	6
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	8
	2.1 CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL.....	8
	2.2 ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE.....	8
	2.3 AGRICULTURA DE PRECISÃO.....	10
	2.4 GEOPROCESSAMENTO .....	11
	2.5 RESPOSTA ESPECTRAL DA PLANTA .....	12
	2.6 VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT).....	13
	2.7 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO.....	14
	2.8 ÍNDICE BIOMÉTRICO.....	15
	2.9 VARIEDADES CANA-DE-AÇÚCAR .....	15
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	17
	3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE EXPERIMENTO.....	17
	3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS.....	18
	3.3 PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	20
	3.4 GERAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO.....	21
	3.5 GERAÇÃO DOS ÍNDICES BIOMÉTRICOS.....	22
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	24
5	CONCLUSÃO.....	28
	REFERÊNCIAS .....	29
	APÊNDICE .....	32

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*), sendo um dos mais importantes para o agronegócio brasileiro, correspondendo a uma área total de 10,2 milhões de hectare, desde o seu plantio até a entrega de seus produtos como o açúcar, cachaça, etanol e a bioenergia gerada pela queima da biomassa (FAO, 2019). A produção está concentrada nas regiões Centro-Sul e Nordeste do Brasil, sendo o Estado de São Paulo o maior produtor e com maior área explorada pela cultura e em especial o Estado de Minas Gerais tendo grande destaque na produção da cachaça de alambique (CONAB, 2020).

Tal panorama se dá pela boa adaptação da cultura em diversas regiões brasileiras, fazendo com que resultando na diversidade de empreendimentos localizados nos diferentes climas e solos do Brasil. Essas empresas trouxeram muito benefícios como a geração de empregos de forma direta e/ou indireta, resultando em renda para a população, para empresas sucroenergéticas e para o mercado da cachaça. No entanto, devido às rápidas transformações que a agricultura vem sofrendo nos últimos anos e com o advento da tecnologia, leva-se a um panorama de demandas cada vez maior, tornando assim uma atividade altamente competitiva.

Com isso, não somente as usinas como também produtores de cachaça e as associações de fornecedores do Brasil, tentam minimizar as perdas nos processos e aumentar a quantidade de rendimento de cana produzida por área com sustentabilidade. Este cenário está sendo possível com a colaboração de novas tecnologias implantadas no setor agrário como a agricultura de precisão, promovendo o conceito de integração de manejo entre o solo, a planta e ambiente. Baseia-se em princípios de tomada de decisão a partir de informações agrícola levantadas por meio do sensoriamento remoto.

O sensoriamento remoto utiliza a radiação eletromagnética para análises espaciais e as suas possíveis mudanças ao longo do tempo. Essa análise nas plantações e o conhecimento da interação da resposta eletromagnética da vegetação, se dá o nome de índices de vegetação. É um estudo que representa as características de reflectância da resposta eletromagnética pelas folhas, plantas individuais e o conjunto de plantas chamado de dossel e podem ser gerados através de imagens por sensores multiespectrais acoplados em veículo aéreo não tripulado (VANT).

Segundo Barros (2018), as imagens geradas por estes sensores têm etapas de obtenção e processamento breves, possuem boa resolução espacial e facilidades de operação, possibilitando assim um monitoramento contínuo com menor custo, maior detalhamento e

menor intervalo de tempo entre as coletas para tomada decisão. O índice de vegetação mais utilizado é o Índice da Diferença de Vegetação Normalizada (NDVI).

Para Rodrigues e Rodrigues (2012), os índices vegetação nada mais são que os resultados de ajustes unidimensionais de respostas espectrais, no qual, possibilitam comparações espaciais e temporais da atividade fotossintética da vegetação, facilitando, assim, o monitoramento sazonal, e variações de curto, longo e médio prazo, referente a parâmetros estruturais, fonológicos e biofísicos das vegetações.

Segundo Zanzarini et al. (2013), o NDVI apresenta boa aplicação para observar a variabilidade espacial de atributos pré-definidos, entender essa distribuição espacial é importante para o estabelecimento de práticas de manejo adequadas para a cultura, visando não somente à otimização da produtividade agrícola, mas também em tomadas de decisões precisas para a minimização de possíveis danos ambientais e um rendimento de maneira sustentável.

Neste contexto, a utilização das técnicas de agricultura de precisão aliadas ao sensoriamento remoto auxiliam no estudo diagnóstico da cultura da cana-de-açúcar com importante destaque na indicação de variedades de potencial produtivo, sendo este, um dos fatores de maior importância e de menor custo para o produtor visando o melhor rendimento do canavial devido a suas boas e rápidas qualidades de análise.

Portanto, objetivou-se com o presente trabalho utilizar as imagens geradas por sensores multiespectrais embarcados em VANT para fazer o cálculo do NDVI e assim verificar o vigor de crescimento da vegetação, correlacionando-os com os parâmetros biométricos de taxa de cana por hectare (TCH) e o grau de severidade causado pela ferrugem marrom (*Puccinia melanocephala*) nas variedades CTC 4, CTC 9002, CTC 9003 e RB966928. Para que ao final indique entre estas, as variedades que tenham maior adaptabilidade e potencial produtivo para a região.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) no Brasil tem expressiva importância no mercado por ser um dos maiores consumidores e o maior produtor mundial. A produção total do Brasil para esta safra 2020/21 está prevista em 630.710,39 toneladas de cana-de-açúcar, um volume 1,9% menor em relação à safra 2019/20. Sendo do total 42,4% destinados a produção de açúcar e 57,6% destinado a produção do etanol (CONAB, 2020). A seguir, na Tabela 2.1, podemos ver um comparativo de redução da produção (%) por região.

Tabela 2.1 – Estimativa de produção por região.

Região	Safra 20/21 (milhões de toneladas)	Variação Safra 19/20 (%)
Norte	3,546	-4,7
Nordeste	48,357	-1,6
Centro-Oeste	138,913	-1,1
Sudeste	406,586	-2,0
Sul	33,306	-3,1

Fonte: Previsão da safra de cana-de-açúcar (CONAB, 2020).

Com o início da pandemia do Covid-19 ao Brasil foram adotadas medidas restritivas para a circulação de pessoas e houve redução da atividade comercial em geral, o que afetou expressivamente a produção do etanol e açúcar. Esse cenário foi também acentuado pela queda dos preços do petróleo no mercado internacional e a valorização do dólar, o que resultou na perda de competitividade do biocombustível em relação à gasolina e baixo valor agregado do açúcar e o etanol no mercado externo.

Em relação a produção de cachaça no Brasil, estima-se que há mais de 40 mil produtores de cachaça industrial e a de alambiques artesanais, fabricando anualmente 1,4 bilhões de litros do produto. Essas empresas são responsáveis por cerca de quatro mil marcas de cachaça existentes e geram mais de 600 mil empregos diretos e indiretos. Só no estado de Minas Gerais, encontram-se aproximadamente 9.000 empreendimentos de alambique (SEBRAE, 2013).

### 2.2 ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE

Obtém-se a produtividade através do coeficiente da quantidade de massa em quilos ou toneladas de cana-de-açúcar dividido pela área plantada em hectares, ou seja, em toneladas de

cana por hectare (TCH). É um indicador importante para a análise comparativa do desempenho e perspectivas de empresas e setores canavieiros. É interessante ressaltar que estimativas da produtividade não explicam, por si só, a situação da empresa ou setor, e muito menos revelam de forma direta as potencialidades de crescimento. Ou seja, produtividade elevada somente não é sinônimo de eficiência, da mesma maneira que nem sempre a baixa produtividade revela atraso ou ineficiência (BUAINAIN; VIEIRA, 2020).

Muitos são os fatores que podem alterar a produtividade para avaliação da safra de cana-de-açúcar, para isso, são considerados alguns parâmetros importantes para sua estimativa como dados históricos relacionados aos rendimentos médios já obtidos na área, condições climáticas da região produtora, em questão o grau de investimento e tecnologias utilizadas no manejo da cultura, bem como a aplicação de análises estatísticas sobre o histórico de produção são alguns parâmetros relevantes para essa análise. Uma das maneiras de se estimar a produtividade da cana-de-açúcar segundo Landell (2008) é a utilização do valor TCH biométrico, que pode ser estimada pela Equação 2.1:

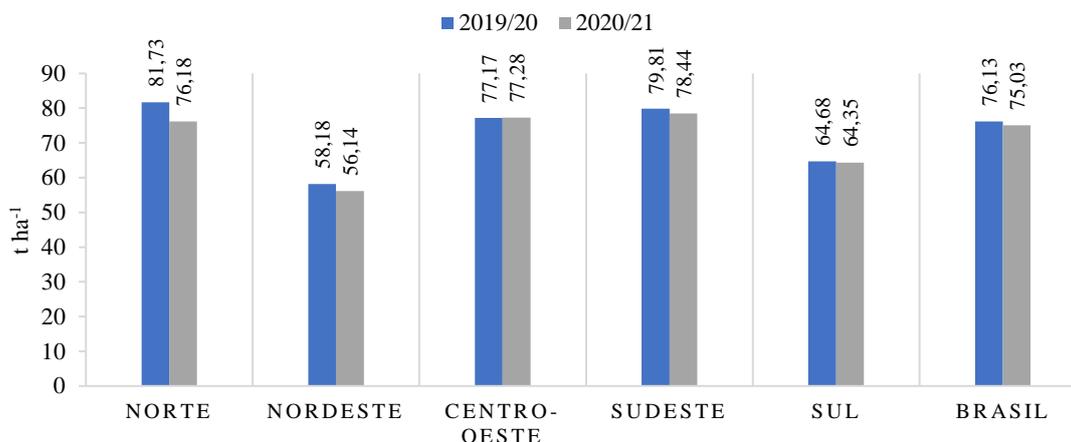
$$TCH = \frac{(0,007854 \times D^2 \times H \times C)}{E} \quad (2.1)$$

Sendo: “H” a altura de colmo (cm); “D” o diâmetro do colmo (cm); “C” o número de perfilhos por metro e “E” o espaçamento das entrelinhas.

Para a produção de cachaça opta-se por cultivares com alta produtividade de TCH, para que atenda toda cadeia produtiva. Segundo Sales (2015), baixa produtividade é resultante do manejo inadequado e/ou do uso de variedades de cana-de-açúcar há muito tempo cultivados e, muitas vezes, não compatíveis as características do local como o solo e clima (ambientes de produção). Esse problema encontrado entre os produtores de cachaça preconiza a necessidade de mais estudos e pesquisas na área.

Seguindo resultados obtidos nas últimas safras, a primeira estimativa de área em produção de cana-de-açúcar da temporada 2020/21 aponta para redução na área colhida em comparação a safra anterior. O Gráfico 2.1, mostra um comparativo de produtividade por região do Brasil.

Gráfico 2.1 – Comparativo de produtividade da cana-de-açúcar por região.



Fonte: Acompanhamento da safra de cana-de-açúcar (CONAB, 2020).

A grande capacidade de expansão de áreas de produção, assim como, as condições edafoclimáticas favoráveis à cultura, garantem ao Brasil elevada competitividade. No entanto, altas produtividades são fatores indispensáveis no cenário atual, porém, a produtividade média brasileira corresponde a 75,03 t ha<sup>-1</sup>, representando decréscimo de 1,5% em relação ao valor final obtido em 2019/20 (CONAB, 2020). O que equivale a menos de 21,43% do potencial total de produção, segundo Landell et al. (2005), a cana-de-açúcar possui um potencial biológico de produção de colmos de cerca de 350 t ha<sup>-1</sup> em um período de 360 dias. Este fato é decorrente de fatores bióticos e abióticos, que interagem proporcionando “gargalos” de restrição (LANDELL et al., 2015).

Neste sentido o Brasil vem buscando aumentar sua produtividade de maneira sustentável e visando alcançar a chamada cana três dígitos, no qual, se refere a produtividades acima de 100 t ha<sup>-1</sup> na média dos primeiros cinco anos. Via de regra, é necessário que o manejo agrícola seja eficiente no uso dos insumos e defensivos e que com isso possa mitigar as perdas causadas pelos fatores intrínsecos e extrínsecos que estão ligados a cultura.

### 2.3 AGRICULTURA DE PRECISÃO

A agricultura de precisão (AP), consiste em conjunto de princípios e tecnologias aplicado no manejo da variabilidade espacial e temporal associada à produção agrícola, em que parte de informações exatas, precisas e se completa nas tomadas de decisões. No Brasil, essa técnica teve crescimento por volta do ano de 1990 potencializado a partir de avanços da tecnologia de referenciamento e posicionamento, como o GPS (Sistema Posicionamento Global por satélites) (RESENDE, 2010).

Dentre os diversos softwares computacionais como o QGIS, ArcGIS, Spring e entre outros utilizados no processamento de dados, evidencia-se a utilização daqueles que possam fazer o processamento digital de imagens para o estudo de índices de vegetações no setor agrário, permitindo assim, uma exploração mais racional dos sistemas produtivos, levando à otimização do uso dos insumos e aumentando a lucratividade, promovendo a minimização dos impactos ambientais em projeções futuras.

## **2.4 GEOPROCESSAMENTO**

O geoprocessamento pode ser entendido como o conjunto de técnicas matemáticas e computacionais, voltadas para o tratamento de informações espaciais para um objetivo em específico (INPE, 2020). Ou seja, as atividades envolvem a aquisição de informações de dados, o sensoriamento remoto, é executada por sistemas específicos mais comumente chamados de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

O sensoriamento remoto pode ser definido como uma geotecnologia que proporciona a obtenção de dados de maneira precisa por aparelhos denominados sensores, sem ter o contato físico com os mesmos. Atualmente são utilizadas técnicas de sensoriamento remoto aliadas as análises dos históricos de produtividade dos campos cultivados como um recurso para monitoramento de produtividade, estimativas e previsões de safras agrícolas (JORGE; INAMASU, 2014).

As imagens geradas podem ser representadas por meio do vetor sendo os elementos discretos como ponto, linha e polígono ou por meio de raster sendo pontos do espaço contínuo que contêm a descrição de cada pixel. Através do qual é possível compreender a variação da radiação refletida ao longo do tempo (temporal) e por meio das culturas agrícolas em várias fases de desenvolvimento (espacial). Segundo Moura (2013), a partir da variação temporal e espacial, padrões podem ser estabelecidos e relacionados ao potencial de produtividade agrícola devido a radiação solar que interage com as várias coberturas da superfície terrestre, de forma característica e individual, descrevendo o comportamento espectral do alvo.

Hoje, o SIG vem se difundindo e atingindo várias áreas para o aprimoramento de seus processos, como por exemplo, na Análise de Recursos Naturais, Cartografia e Comunicação. Um dos motivos são que agora tais dados podem ser obtidos e analisados por custo relativamente baixo, visto que a obtenção de dados pode ser obtida por saldo radiômetro em uma escala regional, através de plataformas terrestres, aéreas e orbitais.

Outro motivo é pelo fato de o Brasil possuir uma extensa dimensão a ser estudada. Isso torna carente de informações referentes a questões urbanas, rurais e ambientais na questão de tomada de decisões oferecendo um conjunto mais amplo possível de estruturas de dados e algoritmos capazes de representar a grande diversidade de concepções do espaço (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

## **2.5 RESPOSTA ESPECTRAL DA PLANTA**

A radiação solar é a principal fonte de energia e devido à sua elevada temperatura, gera uma grande quantidade de energia que é irradiada para toda atmosfera. A energia radiante se desloca através do vácuo e, neste caso, é possível dizer que a radiação se propaga através de um meio denominado campo eletromagnético, por isso, é denominada de radiação eletromagnética (REM) (STEFFEN, 2020).

O aprimoramento da interação da REM e a vegetação têm ocorrido pela realização de estudos no tema referido por comportamento espectral da vegetação. Para caracterizar este comportamento, é preciso conhecer o processo de interação resposta eletromagnética, quando a radiação interage com um determinado objeto, a radiação pode ser refletida, absorvida ou mesmo transmitida (no caso de objetos transparentes). O fator que mede a capacidade de um objeto de refletir a energia radiante indica a sua reflectância, enquanto que a capacidade de absorver energia radiante e transformar em calor é indicada pela sua absortância e, da mesma forma, a capacidade de transmitir energia radiante é indicada pela sua transmitância (LOURENÇO, 2005). A maioria dos casos que envolvem o uso do sensoriamento remoto em estudos da vegetação inclui a reflectância como o fenômeno mais analisados.

Segundo Rissini, Kawakami e Genú (2015), existem dois comprimentos de onda que apresentam relação direta com variáveis na planta como indicadores do potencial produtivo: ondas do espectro do vermelho, cuja reflectância é menor em condições de maior quantidade de clorofila e ondas do espectro do infravermelho, cuja reflectância é maior quanto maior for o acúmulo de massa de matéria seca da planta.

Como citado por Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012) o espectro vermelho ocorre baixa refletância das folhas decorrente a alta absorção da radiação por meio da clorofila; já no espectro do infravermelho ocorre alta refletância devido a esta banda ter interação com a estrutura celular da planta, ocasionando um espalhamento da radiação no interior das folhas.

De acordo com Zanzarini et al. (2013), o espectro infravermelho, é muito utilizada para representar as características de reflectância da resposta eletromagnética pelas folhas, plantas individuais e conjunto de plantas chamado de dossel.

## **2.6 VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)**

A associação Brasileira de Aeromodelismo define VANT como um veículo capaz de voar na atmosfera, fora do efeito de solo, que foi projetado ou modificado para não receber um piloto humano e que é operado por controle remoto ou autônomo quando programada previamente (JORGE; INAMASU, 2014).

As plataformas aéreas utilizada pelo VANT são para aquisição de imagens digitais de alta resolução, se comparadas a imagens de plataformas orbitais, possibilitam a obtenção de informações de dosséis em tempo real e com menores tamanhos de pixels. Segundo Moura (2013) as plataformas aéreas oferecem vantagens devido às menores altitudes operacionais, por estarem menos sujeitas a variações de opacidade atmosférica. O VANT pode ser embarcado por diferentes tipos de sensores que capturam diferentes dados como citado anteriormente.

Segundo Santos, Padolfi e Ramaldes (2018) nos últimos 15 anos agricultores começaram a ver o VANT como uma oportunidade para aplicar no campo conceitos da agricultura de precisão, baseada no uso de instrumentos e recursos da tecnologia da informação para implementar melhorias na produção agrícola.

Segundo Rodrigues e Rodrigues (2012), a agricultura de precisão utiliza-se muito sensores remoto passivos do comprimento de onda vermelho e infravermelho. Tais bandas são frequentemente utilizadas em categorização de imagens de satélite para análises agrícolas.

O sensor remoto é um dispositivo capaz de responder a REM de determinada faixa do espectro eletromagnético, registrá-la e gerar um produto numa forma adequada para a interpretação do usuário e um sensor passivo é quando necessita de fonte externa de REM (MORAES, 2002).

A imagem gerada pelo sensor que capta o comprimento de onda infravermelho, é possível aplicar cálculos de índices de vegetação, permitindo monitoramento em tempo real com a identificação a respostas de estresse nutricional, indicadores fisiológicos e estrutura do dossel por alteração de alguma doença ou deficiência (BERNARDI et al., 2014).

## 2.7 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO

O índice de vegetação é a combinação aritmética entre duas ou mais bandas que evidencia algum componente de interesse na geração de uma imagem multiespectral. Estas imagens tem permitido ser comparadas a diversas propriedades biométricas da vegetação para possíveis análises (SANTOS; PADOLFI; RAMALDES, 2018).

Um dos índices mais conhecidos é o NDVI é um indicador de vegetação utilizado para destacar a biomassa ocorrente em uma determinada unidade de área. Realizando a mensuração da quantidade de clorofila e da absorção de energia por unidade de área (DEMARCHI; PIROLI; ZIMBACK, 2011).

O princípio do NDVI é que a vegetação, quanto mais ativa no processo de trabalho da clorofila nos tecidos vegetais, mais absorve a luz solar na região do vermelho e a estruturas celulares das folhas provocam uma forte reflexão da luz solar na região do infravermelho (RODRIGUES; RODRIGUES, 2012). Assim, o índice normalizado cálculo são dentro dos limites de uma banda obtido pela Equação 2.2:

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad (2.2)$$

Sendo: “NIR” a energia refletida no infravermelho próximo e “R” a energia refletida no vermelho do espectro eletromagnético.

O valor de NDVI varia de -1 a +1, onde o solo sem cobertura e as nuvens são representados por valores próximos de 0 podendo ser valores negativos por não ter a presença de atividade clorofiliana (taxa fotossintética). Mas tal fato se torna irrelevante, pois em operações com VANT a sua altura de voo sempre é menor que a altitude de nuvens. Já o número acima de 0 indica a presença de cobertura vegetal. Assim, é possível observar que quanto maior for o valor de NDVI, maior é a reflectância da banda infravermelho e conseqüentemente está ligado a uma vegetação mais densa ou em pleno vigor de crescimento (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001).

Segundo Rissini, Kawakami e Genú (2015) é importante ressaltar que o máximo potencial produtivo para as culturas agrícolas pode ser estimado em qualquer estágio de seu desenvolvimento, mas o seu valor comportará de maneira diferente ao longo do ciclo do canavial. E em estudo o comportamento do NDVI no sensor passivo variou para as cultivares de trigo variou durante o ciclo de desenvolvimento, mostrando, um comportamento distinto para cada cultivar.

Segundo Silva (2014), sua pesquisa identificou e mapeou as fisionomias vegetais do Cerrado em uma unidade de conservação brasileira de proteção integral à natureza, localizada no município de Mineiros, na região sudoeste do estado de Goiás através dos diferentes valores de NDVI.

## 2.8 ÍNDICE BIOMÉTRICO

O índice biométrico se refere a características físicas ou comportamentais da vegetação como forma de identificá-las unicamente com o seu genótipo vegetal. Isso porque toda a atividade metabólica realizada pela planta e seu crescimento da brotação é regulado pela programação genética específica (genótipo) de cada variedade. Se as condições ambientais (fenotípicas) for ideal, o crescimento será ditado pelo genótipo vegetal e assim cada variedade tem um crescimento, apresentando altura, diâmetro, números de colmos diferentes que ao final influenciará no TCH e no aparecimento de doenças.

Popularmente conhecida como ferrugem marrom é uma doença foliar causada pelo fungo *Puccinia melanocephala* (AMORIM et al., 1987). No Brasil encontra bastante disseminada em todas as regiões produtoras de cana-de-açúcar.

Segundo Souza, Trevisan e Moschini (2018) a doença acarreta na presença de pústulas na face inferior (abaxial) da folha de coloração amarelada a marrom-escuro e em variedades muito suscetíveis as plantas atacadas têm crescimento retardado, com folhas queimadas e sem brilho, características da doença, influenciando na capacidade fotossintética da planta e, em consequência, a produção de sacarose, diminuindo assim sua produtividade. Segundo Magro et al. (2011) os resultados dependem não só da variedade como das condições ambientais como solo, disponibilidade hídrica e temperatura.

## 2.9 VARIEDADES CANA-DE-AÇÚCAR

A diversidade varietal é uma estratégia para garantir a segurança biológica e evitar que, em caso do ataque de praga ou doença severa, grande parte do canavial não seja atingida. Mas diferente de outras culturas, a substituição de variedades é lenta na cana-de-açúcar. Enquanto na soja ou no milho a troca de variedades é quase anual, na cana o período de utilização de uma variedade é maior que dez anos (BRAGA et al., 2019). Sua seleção é uma questão crítica e possui um grande efeito na performance da cultura e na produtividade. Para maiores lucros na produção de cachaça é recomendado variedades que forneçam alto teor de sacarose, fácil

despalha, resistência ao tombamento, baixo teor de fibras, resistência aos patógenos e alto TCH (SOUZA, 2013).

O Censo Varietal IAC realizado pelo Programa Cana IAC, vinculado ao Instituto Agrônômico (IAC) analisa que na região Centro-Sul, na safra 2017/18 a variedade RB867515 foi a mais cultivada pelo décimo ano consecutivo com representatividade de 20% de área plantada. Em seguida, se encontra a RB966928, com 14% da área plantada. Outras variedades que deverão ter suas áreas de cultivo significativamente reduzidas nas próximas safras foram a RB867515 e SP81-3250, devido a porcentagem de plantio estar sendo menor que a porcentagem de colheita. Em contrapartida as variedades CTC 4 e RB966928, deverão ter crescimento acelerado nos anos futuros. Com tudo é possível notar de uma maneira como um todo, que os produtores do Centro-Sul estão utilizando variedades cada vez mais antigas, com pouca diversidade varietal e baixo índice de renovação no canavial (BRAGA et al., 2019). Um dos exemplos de variedades cultivadas, Tabela 2.2, são: CTC 4, CTC 9002, CTC 9003 e RB 966928.

Tabela 2.2 – Resumo comparativo das variedades apresentadas como exemplo.

Variedades	Desenvolvimento	TCH	Ferrugem marrom
CTC 4	vigoroso	elevado	susceptível
CTC 9001	vigoroso	elevado	tolerante
CTC 9003	vigoroso	elevado	tolerante
RB966928	vigoroso	elevado	tolerante

Fonte: Bula técnica de variedades (CTC, 2018) e 45 anos de variedades RB de cana-de-açúcar (RIDESA, 2015).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido no município de Lavras/MG, no campo de produção de cana-de-açúcar da empresa Bocaina Agroindústria e Comércio de Cachaça Ltda, situada na BR 265, Km 349, a 912 m de altitude, 21°16'04.45"S e 45°00'12.88"W, mostrado na Figura 3.1. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), profundo, bem drenado e textura muito argilosa (EMBRAPA, 2006). O clima de Lavras, segundo a classificação climática de Köppen, é Cwa, temperado chuvoso com inverno seco e verão chuvoso, em geral a temperatura média anual de 20,4°C e precipitação normal anual de 1460. A área possui cultivo de cana-de-açúcar há 25 anos, em sistema convencional, sem a queima da cultura para colheita e destina para a produção de cachaça (APÊNDICE A).

Figura 3.1 – Localização real e croqui da área experimental da Bocaina Agroindústria e Comércio de Cachaça Ltda, em Lavras/MG.



L1	L2	L3
3 - C1	2 - C3	1 - C2
4 - C3	5 - C2	6 - C4
9 - C1	8 - C4	7 - C1
10 - C3	11 - C4	12 - C2
13 - C4	14 - C3	15 - C2
18 - C4	17 - C1	16 - C1
	19 - C2	20 - C3

Legenda: a esquerda delimitação do talhão para o experimento e a direita croqui da área com as 3 linhas (L1, L2 e L3), com diferentes colorações representando os blocos (cinco) e cada parcela representada pelo número inicial referente ao número da parcela e a denominação C1 é representada pela variedade CTC 4, C2 a variedade CTC 9002, C3 a variedade CTC 9003 e C4 a variedade RB966928.

Fonte: Do Autor (2020).

Após o preparo convencional do solo, com aração e duas gradagens, realizou-se em 23 de março de 2019 o plantio da cana-de-açúcar (cana-de-ano-e-meio) via mudas pré-brotadas

(MPB) por meio de matracas. O delineamento utilizado foi o DBC (delineamento em blocos casualizados) sendo quatro tratamentos (variedades), com cinco repetições (blocos), representado por diferentes cores, totalizando 20 parcelas em toda a área. As parcelas experimentais foram constituídas por três linhas de cana, espaçadas de 1,5 m, com comprimento de 5 metros com área total de 22,5 m<sup>2</sup>. Como área útil da parcela 6,0 m<sup>2</sup>, consideram-se a linha central e excluindo 0,5 m das extremidades da bordadura.

### 3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

No levantamento para aquisição de dados utilizou-se o drone Phatom 4 PRO, Figura 3.2, com plataforma do tipo helicóptero convencional, quatro asas rotativas, pilotagem em modo automática de maneira prática, modo de decolagem e pouso na vertical, podendo atuar com velocidade máxima de 15 m/s, peso de 1,4 kg e de dimensão de 35 cm em sua diagonal. O drone é composto também de um aparelho de receptor móvel, o Ground Control Station (GCS) através da qual foi possível planejar e monitorar o voo com um celular acoplado, a qual, recebe sinais de GPS fornecendo a posição na superfície da Terra do drone por meio Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS).

Figura 3.2 – Aparelho receptor móvel e a aeronave Phatom 4 PRO.



Fonte: DJI

Junto ao VANT foi acoplado dois sensores óticos passivos, Figura 3.3, com modo de orientação das imagens vertical. Sendo o sensor FC6310 do próprio drone, com lente focal de 8,8 mm e resolução da foto de 4864 x 3648 mm e o sensor Survey3W com lente focal de 3,4 mm e resolução da foto de 4000 x 3000 mm. O drone envia sinais ao receptor móvel e o sensor

transmite um vídeo em tempo real para um celular acoplado ao sistema, tal operação utilizada chama-se de BVLOS, no qual o operador do drone foi capaz de manter contato visual direto com o drone sem o auxílio de um observador.

Figura 3.3 – Sensor óptico passivo FC6310 e o sensor Survey3W.



Fonte: DJI e MAPIR.

O planejamento do voo foi feito através do aplicativo Drone Deploy, a partir de um novo projeto no qual delimitou-se a área através de uma poligonal necessária para o levantamento da área pré-estabelecida. Tal poligonal precisa ser super estimado com pelo menos duas linhas de passagem da aeronave a mais para evitar distorção das bordas das imagens obtidas. A altitude foi programada para sobrevoar a 40 metros, isso para melhores resultados na quantidade de centímetro por pixel da imagem. Foi definida a sobreposição de imagens laterais e frontais em 80% entre uma imagem e outra para uma boa obtenção de resultados. Estipulou-se o ponto de partida do plano de voo e a velocidade do voo foi definida em 5 m/s. Logo após isso, o aplicativo gera a estimativa de tempo de voo, a quantidade de área que vai ser levantada, quantidade total de imagens a serem captadas pelo sensor e a quantidade baterias vão ser preciso para a realização deste voo. Tais parâmetros vão mudando à medida que é feita alterações no planejamento do voo.

No dia do voo foi verificado previamente a velocidade e direção do vento, temperatura do dia, visibilidade do céu e probabilidade de chuvas. O voo ocorreu em 18 de março de 2020, no local iniciou-se com o procedimento de montagem, certificando-se de que todas as peças e acessórios estavam à disposição e o aparelho receptor móvel carregado. Em seguida colocou-se a bateria, verificando o seu nível de carga e foi retirado as travas e protetores da lente do sensor. Foi colocado as quatro hélices em cada rotor do equipamento. Após fazer a montagem

do drone, fez-se a montagem do aparelho receptor móvel, ligando por meio de um cabo o receptor móvel ao celular.

Com o equipamento totalmente montado e ligado, realizou-se um checklist pelo aplicativo Drone Deploy, contendo as seguintes verificações para dar início ao voo: quantidade de satélites disponíveis para o voo, memória no SD suficiente para a quantidade de imagens, aparelho receptor móvel conectado ao celular e identificação do ponto do início do voo. Durante a sobre voagem foi necessário sempre monitorar o tempo de voo, nível de bateria, velocidade do vento, número de satélites disponíveis, qualidade do link de comando e vídeo.

Devido a sobreposição de imagens em 80%, lateral e frontal, foi gerada no total de 57 fotos no sensor FC6310 e 73 fotos no sensor Survey3W, um valor maior devido ao disparo de fotos ser de maior frequência. Ambos durante um único voo de 5 minutos e 58 segundos, com o uso de uma bateria para uma área de cobertura de 4.707 m<sup>2</sup>.

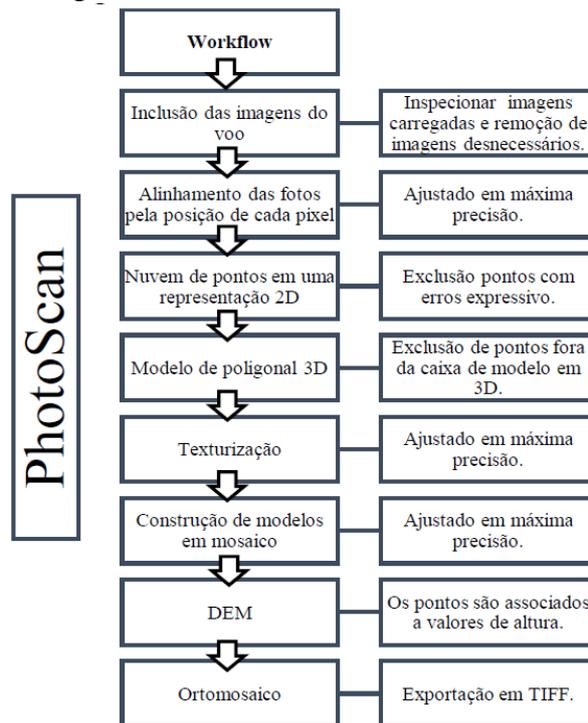
### **3.3 PROCESSAMENTO DOS DADOS**

Ao finalizar o levantamento de dados, começou a operação de processamento de dados em 20 de março de 2020. Com cartão SD do sensor, houve a transferência das imagens obtidas para um computador. Com isso fez-se a calibração das imagens geradas pelo software da Mapir, convertendo as imagens em formato jpeg + raw em tiff para que assim procedesse com a geração do ortomosaico NDVI.

O software PhotoScan da Agisoft permitiu chegar ao produto de informação geográfica: o ortomosaico. O ortomosaico corresponde ao produto gerado a partir da união das fotos realizadas na área coberta pelo voo. Portanto, diversas fotos sobrepostas são consolidadas para produzir um único ortomosaico, que representa toda a área de trabalho.

O PhotoScan trabalha com uma metodologia chamada de workflow, Figura 3.4, onde seus processos são realizados em uma linha de trabalho no qual cada passo depende da conclusão do anterior. Para isso seguimos os principais passos: inclusão das fotos; alinhamento de fotos; construção de nuvem de pontos densa em 2D; modelo de poligonal 3D; geração de textura; construção de modelo em mosaico; construção de modelo de elevação digital, ou do inglês, Digital Elevation Model (DEM) e a construção ortomosaico.

Figura 3.4 – Fluxograma do workflow realizado no PhotoScan.



Fonte: Do Autor (2020).

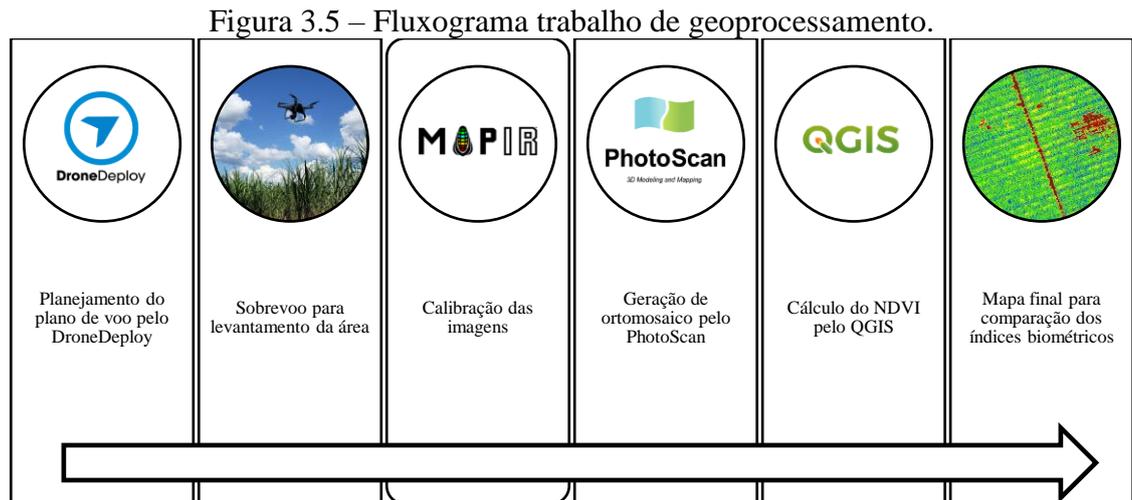
Seguindo todos os passos foram geradas duas imagens em ortomosaico, uma com a composição das cores reais e outro com a composição da banda do infravermelho. No processamento das imagens do sensor Survey3W o que alterou foi apenas em o seu primeiro passo, no qual antes de carregar as fotos no PhotoScan, foi necessário abrir as fotos no software MAPIR para um melhor ajuste das imagens com a junção das fotos geradas em formato JPEG e RAW. No software selecionou-se o sensor utilizado Survey3, lente de 3,37mm e filtro da banda infravermelho, para que assim fosse geradas fotos possíveis de serem carregadas no PhotoScan e assim começar todos os seus passos para a obtenção do ortomosaico.

### 3.4 GERAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO

O software SIG utilizado foi o QGIS versão 3.10, esta etapa é destinada a interpretar fotografias aéreas e assim identificar o que as imagens geradas representam. Com o ortomosaico gerado e através do software PhotoScan foi possível realizar o cálculo do NDVI, para que assim, correlacione-se com os índices biométricos da cana-de-açúcar.

No software QGIS processou-se o ortomosaico da banda do infravermelho e por se tratar de um cálculo de uma imagem raster, a operação foi feita através do comando da calculadora

de raster inserindo a Equação 2.2 com as respectivas bandas da imagem. O produto final foi a imagem NDVI em escalas de cinza. Para uma melhor interpretação dos resultados, foi atribuído as bandas uma escala de falsas cores para uma melhor visualização ajustando também os níveis de brilho, saturação e contraste. Abaixo, em Figura 3.5, mostra o resumo da parte de todo geoprocessamento para geração final de análise e interpretação do índice de vegetação gerado.



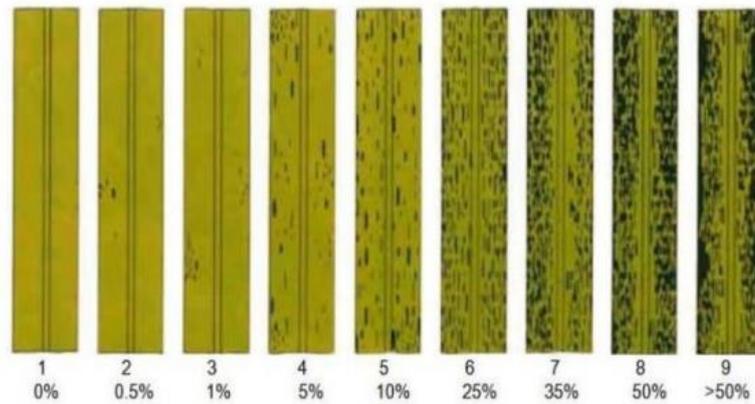
Fonte: Do Autor (2020).

### 3.5 GERAÇÃO DOS ÍNDICES BIOMÉTRICOS

A análise da produtividade biométrica foi realizada no dia 7 de março de 2020 aos 11 meses após o plantio das variedades. As medidas foram feitas na linha central das parcelas, ocorrendo da seguinte maneira: a altura de colmo (H), foi medido da base até a inserção da folha +3, por meio de uma fita métrica; o diâmetro (D), foi medido com o uso de um paquímetro, na altura de um terço ( $\frac{1}{3}$ ) do comprimento do colmo da base para a ponta; o número de perfilhos por metro (C), foram contados em 3 metros lineares e; o espaçamento entre linhas (E) foi de 1,5 metros. Com os dados levantados, foi possível calcular o seu TCH de acordo com a Equação 2.1.

Quanto à severidade de doenças, foram feitas avaliações com base na escala de Amorim et al. (1987) para cada parcela, dando notas de 1 (0 % de severidade ou ausência de sintomas) a 9 (sintomas severos com mais de 50% de severidade), conforme ilustrada na Figura 3.6. Para tais avaliações foram empregadas folhas +3, conforme sistema de Kuijper (VAN DILLEWIJN, 1952).

Figura 3.6 - Escala diagramática para avaliação da ferrugem marrom em cana-de-açúcar.



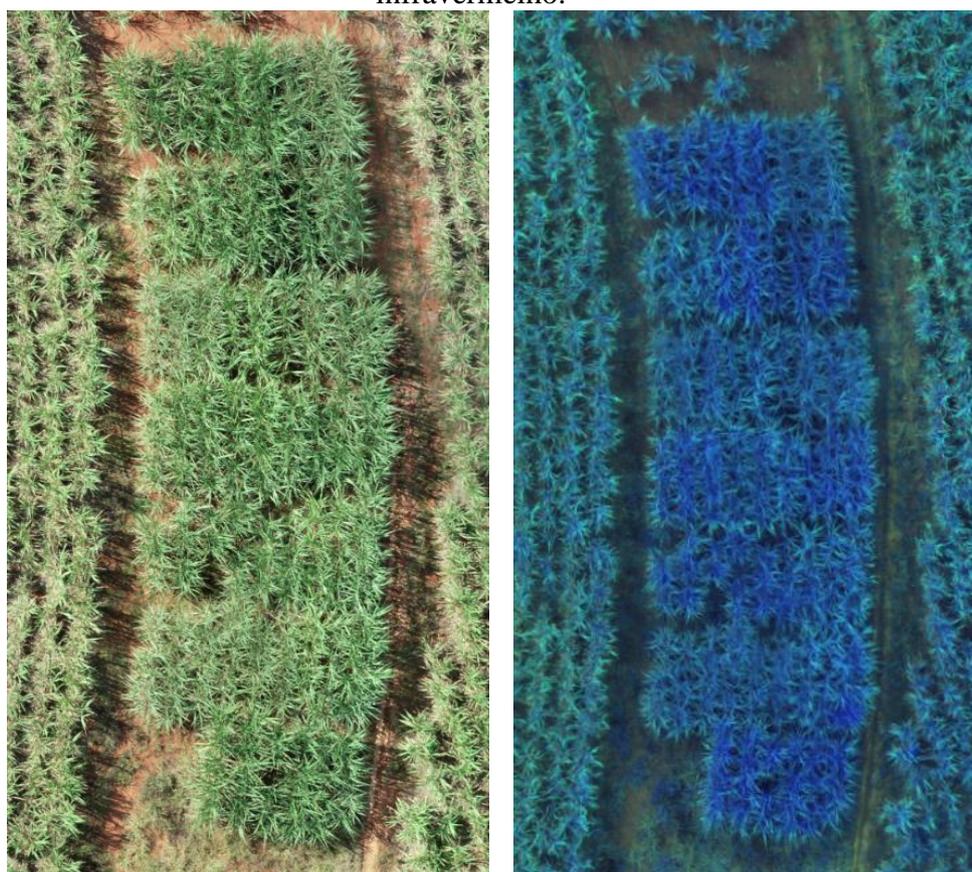
Fonte: Amorim et al. (1987).

Realizaram-se as análises de variância individuais pelo teste F para os caracteres biométricos, seguida da aplicação de teste de Scott-Knott para comparação das variáveis. Assim os grupos que forem classificados como estatisticamente iguais receberão as mesmas letras. Nas análises adotou-se o nível de 5% de probabilidade, por meio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011). Foi realizado a transformação dos dados para o caractere em contagem (nº de colmos por metro), adotando raiz ( $x + 0,5$ ), para atender as premissas da Anova. Calculou-se ao final a média geral de cada parâmetro e o coeficiente de variância (CV). As médias dos tratamentos apresentados na Tabela 4.2 são os dados originais sem a transformação.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas etapas do geoprocessamento, obteve-se um ortomosaico com as cores reais, no qual, foi gerado com as 57 fotos uma nuvem densa de 58 milhões de pontos, um DEM com tamanho de 4864 x 3648 mm e 28,2 cm/pixel e por fim o ortomosaico com tamanho da foto de 11339 x 12984 mm e com 1,13 cm/pixel. Já no ortomosaico utilizando a banda do infravermelho, foi gerado com as 73 fotos uma nuvem densa de 62 milhões de pontos, um DEM com tamanho de 4000 x 3000 mm, com 31 cm/pixel e por fim o ortomosaico com tamanho da foto de 7640 x 9254 mm e com 1,78 cm/pixel. Na Figura 4.1, no ortomosaico a esquerda percebemos as cores reais do terreno e no ortomosaico com a banda do infravermelho podemos ver que com a alternância do filtro na região do azul para a faixa do infravermelho, resultando em uma imagem predominantemente azul.

Figura 4.1 – Ortomosaico a esquerda de cores reais e a direita utilizando a banda do infravermelho.

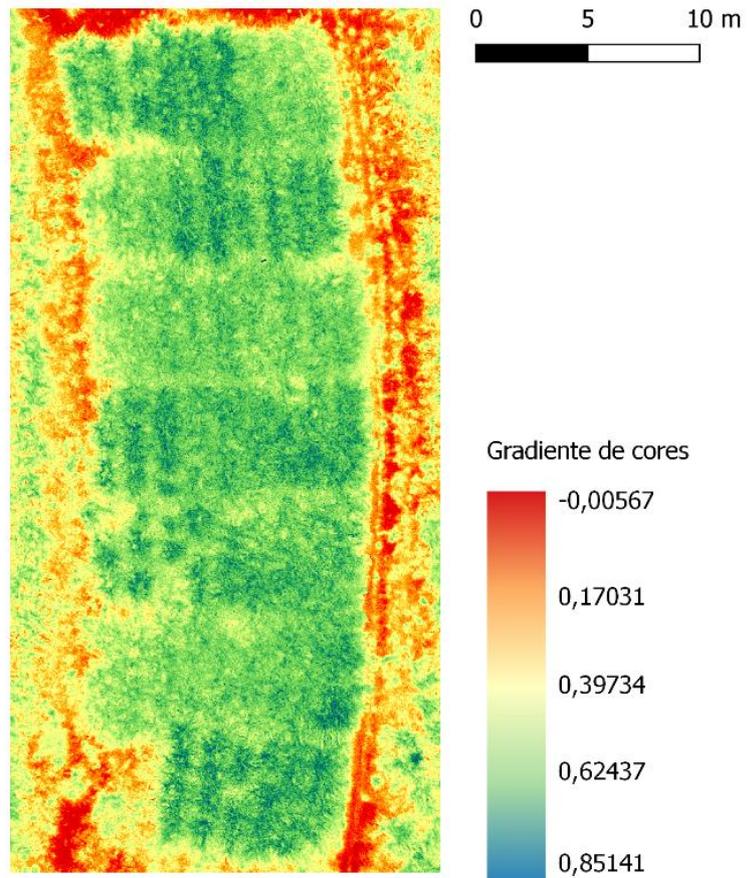


Fonte: Do Autor (2020) .

No produto do NDVI, Figura 4.2, obteve-se a representação do solo exposto em cores vermelhas confirmando que os valores muito próximos a 0. As folhas em toda extensão de

bordadura da área representadas em cores alaranjadas e amareladas revelando que há a baixa reflectância, por se tratar de plantas que ficam mais expostas a danos no seu desenvolvimento. Já no interior de cada parcela são representadas em diferentes tonalidades de verde o que demonstra que os valores de NDVI foram diferentes, isso revela, que há uma distinção entre os diferentes desenvolvimentos fisiológicos das variedades plantadas.

Figura 4.2 – Mapa final após cálculo do NDVI.



Fonte: QGIS.

A variedade CTC 4 foi a que mais mostrou correlação com a alta severidade da ferrugem marrom, representada pela coloração verde mais claro e os valores de cada variedade é possível ver na Tabela 4.1 o valor médio de cada parcela, gerado pela ferramenta da análise dos valores raster na função estatística do QGIS.

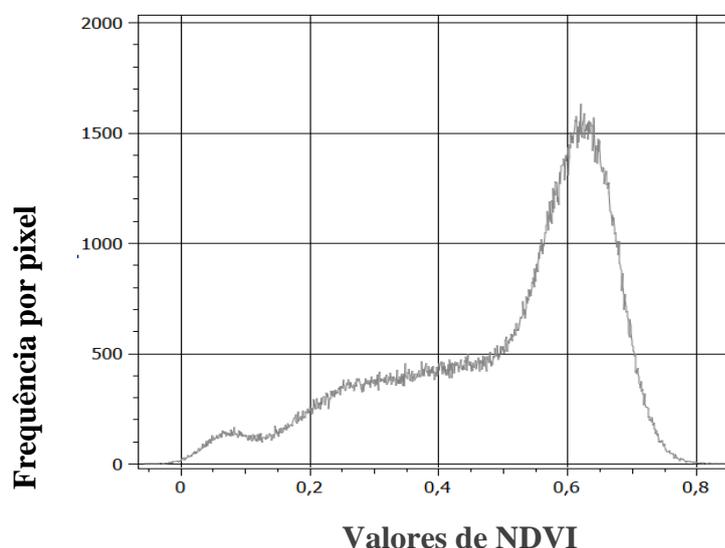
Tabela 4.1 – Valores médios de NDVI das variedades analisadas.

Variedades	NDVI
CTC 4	0,5728
CTC 9002	0,6029
CTC 9003	0,5950
RB966928	0,5792
Média Geral	0,5874
CV (%)	0,0056

Fonte: Do Autor (2020).

A área no geral mostrou valores variando entre valores de -0,0567 até 0,8514. No Gráfico 4.1, podemos ver a frequência destes valores de NDVI.

Gráfico 4.1 – Frequência de valores de NDVI por pixel da imagem.



Fonte: QGIS.

Os resultados dos dados dos índices biométricos médios foram calculados para cada variedade e é representado em Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Caracteres biométricos médios avaliados aos 11 meses após o plantio de quatro variedades de cana-de-açúcar.

Variedades	H (cm)	D (cm)	C (colmos/m)	TCH	Severidade
CTC 4	182,5 a	2,5 b	10,3 b	64,0 b	3,3 c
CTC 9002	181,2 a	2,7 a	9,6 b	68,6 b	1,8 b
CTC 9003	166,9 a	2,6 b	8,8 c	53,0 c	1,2 a
RB966928	182,0 a	2,9 a	12,4 a	97,0 a	1,6 b
Média Geral	178,1	2,7	10,3	70,6	2,0
CV (%)	8,6	9,7	9,2	24,5	16,0

Legenda: Médias seguidas de letras distintas diferem significativamente pelo teste “Scott-Knott”, a 5 % de significância.

Fonte: Do Autor (2020).

Através dos resultados podemos analisar uma elevada TCH na variedade RB966928, um TCH intermediário nas variedades CTC 4 e CTC 9002 e em contra partida uma baixa TCH na CTC 9003. Com os resultados analisando da severidade de ferrugem marrom, obteve-se nota alta de severidade na variedade CTC4, uma média tolerância nas cultivares CTC 9002 e RB966928 e em contrapartida a CTC 9003 teve resultado mais eficiente, característica de moderada tolerância a doença.

Segundo Garcia et al. (2007), a ferrugem marrom apresenta alta infestação nos primeiros meses de desenvolvimento da cultura e sazonalidade na manifestação de sintomas, com picos de incidências nos meses de junho a agosto e de novembro a janeiro, ou seja, ataca a cana jovem no período da primavera. Por isso, os dados referentes a severidade mostraram-se bem eficazes, visto que o estudo foi feito 11 meses após o plantio.

Segundo Cruz, Jeronimo e Perdona (2014), estima-se que a doença cause redução na produção agrícola na ordem de 20 a 40% na TCH e de 15 a 20% no teor de sacarose nos colmos. Isso ocorre porque a partir do momento em que a ferrugem se desenvolve nas folhas, ocorre a redução da área fotossintética e conseqüentemente a planta não consegue expressar o seu potencial produtivo. Para isso, existem diversas formas para o manejo da ferrugem marrom, tais como controle cultural, controle químico, controle biológico e controle genético. Mas o controle mais eficaz e economicamente viável da ferrugem marrom é a utilização de variedades mais resistentes.

## 5 CONCLUSÃO

Com o presente trabalho pode-se observar que existe uma diferenciação das características fisiológicas, pelo índice NDVI, no qual mostrou resultados diferentes das variedades analisadas.

O NDVI aliado a identificação de parâmetros biométricos, mostram que a CTC 9002 e RB966928 são cultivares de grande potencial para elevado rendimento na produtividade da cana-de-açúcar da região de Lavras/MG.

O drone é um recurso importante na agricultura de precisão, pois em conjunto com o monitoramento manual, garantem tomadas de decisões de rápido acesso ao levantamento de áreas pré-estabelecidas. É importante lembrar que este estudo em conjunto de todas as práticas agrícolas contribui para o alcance de altas produtividades e, possivelmente, alta rentabilidade da atividade. Permitindo o uso racional dos corretivos, fertilizantes e agrotóxicos para a redução dos impactos ambientais decorrentes da atividade da agricultura.

Concluiu-se que a utilização desta metodologia pode ser eficaz quando aplicada para fins de amostragem dentro da área delimitada e quando se define a finalidade do estudo para sua amostragem em período correto. No entanto, a investigação requer também maiores aprofundamentos, como a comparação de outros índices de vegetação de acordo com a literatura.

## REFERÊNCIAS

- AMORIM, L. et al. **Metodologia de avaliação de ferrugem da cana-de-açúcar (*Puccinia melanocephala*)**. São Paulo: Copersucar. 13-16 p. 1987.
- BARROS, J. E. 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.
- BERNARDI, A. C. C. et al. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. 596p. 2014.
- BRAGA, R. L. C. et al. Boletim IAC 221, **Censo Varietal IAC de cana-de-açúcar no Brasil: Safra 2017/18 e na região Centro-Sul - Safra 2018/19**. Campinas, 64 p, 2019.
- BUAINAIN, A. M.; VIEIRA, P. A. **Produtividade na agricultura: o fator esquecido**. Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/arquivos/Produtividade.pdf>>. Acesso em: 21 Maio. 2020.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 324p, 2001.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira: cana-de-açúcar**. Brasília, v. 7 - Safra 2019/20, primeiro levantamento, Maio, p.1-62, 2020.
- CRUZ, J. C. S.; JERONIMO, E. M.; PERDONA, M. J. **Informações sobre a Ferrugem Alaranjada da Cana-de-Açúcar**. *Pesquisa & Tecnologia*, vol. 11, n. 1, Jan-Jun 2014.
- CTC. Centro de Tecnologia Canavieira. **Bula técnica de variedades**. v. 2018. São Paulo: Centro de Tecnologia Canavieira, 2018.
- DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. **Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP usando imagens LANDSAT-5**. *RAE GA*, v. 21, p. 234-271, 2011.
- FERREIRA, D. F. **Sisvar: a computer statistical analysis system**. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.
- Food and Agricultural Organization of the United Nations - FAO. Faostat. Acesso em: 23 ago. 2020]. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- GARCIA, E. O. et al. **Preservação de urediniosporos de *Puccinia melanocephala*, agente causal de ferrugem em cana-de-açúcar**. *Summa Pphytopathologica*. vol.33, no.2, p.152-156, Botucatu, 2007.
- INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Tutorial SPRING - Tutorial de Geoprocessamento**. 2000. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, data da edição: maio de 2000. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/manuais.html>, acesso em: 20 Maio. 2020.

JORGE, L. A. C.; INAMASU, Ricardo Y. **Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão**. Embrapa Instrumentação-Capítulo em livro científico (ALICE), 2014.

LANDELL, M.G. de A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008.

LANDELL, M. G. A. et al. **Manejo varietal em cana-de-açúcar: aspectos teóricos e aplicações de conceitos**. In: BELARDO, G. C.; CASSIA, M. T.; SILVA, R. P. *Processos agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar*. Jaboticabal: Editora SBEA, p. 273-288, 2015.

LANDELL, M. G. A. et al. **Variedades de cana-de-açúcar para o centro-sul do Brasil: 15ª liberação do programa cana IAC (1959-2005)**. Campinas, IAC, 37 p. (Boletim Técnico, 197), 2005.

LOURENÇO, L. S. et al. **Relação entre atributos do solo e da planta e a resposta espectral da cana-de-açúcar**. 2005.

MAGRO, F.J. et al. **Biometria em cana-de-açúcar**. Escola Superior de Agricultura Luiz De Queiroz. Piracicaba/SP. 2011.

MORAES, E. C. **Capítulo 1 fundamentos de sensoriamento remoto**. 2002.

MOURA, M. C. F. **Correlação entre produtividade em cana-de-açúcar e índices de vegetação espectrais: estudo de caso na região de oratórios, MG**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. 2013.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y.; KUPLICH, T. **Sensoriamento remoto da vegetação**. atualizada e ampliada. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

RESENDE, A. V. et al. **Agricultura de precisão no Brasil: avanços, dificuldades e impactos no manejo e conservação do solo, segurança alimentar e sustentabilidade**. Teresina, PI: Embrapa Meio-Norte: Universidade Federal do Piauí, 2010.

RIDESA, Rede Interuniversitária para VAN o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético. **45 anos de variedades RB de cana-de-açúcar: 25 anos de Ridesa**. 1. ed., Curitiba: Graciosa, 156 p, 2015.

RISSINI, A. L. L.; KAWAKAMI, J.; GENÚ, A. M. **Índice de vegetação por diferença normalizada e produtividade de cultivares de trigo submetidas a doses de nitrogênio**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 39, n. 6, p. 1703-1713, 2015.

RODRIGUES, M. T.; RODRIGUES, B. T. **Aplicação do índice da vegetação por diferença normalizada (NDVI) em imagens Cbers 2b no município de Botucatu-SP**. Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas, v. 6, n. 3, p. 139-147, 2012.

SALES, L. R. et al. **Seleção de cultivares de cana-de-açúcar potenciais para o município de Lavras-sul de Minas Gerais**. Revista Agrogeoambiental, v. 8, n. 1, 2015.

SANTOS, O. L.; PADOLFI, A. S.; RAMALDES, G. P. **Análise de índice de vegetação através de imagens obtidas por VANT**. Revista Científica FAESA, v. 14, n. 1, p. 145-165, 2018.

SEBRAE, Serviço De Apoio Às Micro e Pequenas Empresas. **Estudo de mercado da cachaça Bahia**. Bahia. p.1-97. 2013.

SILVA, O. F. **Análise de imagens multitemporais do sensor TM Landsat-5 da vegetação do Cerrado, utilizando técnicas de NDVI, no Parque Nacional das Emas – Goiás**. Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2014.

SOUZA, L. M. ALCARDE, A. R. LIMA, F. V. **Produção de cachaça de qualidade**. Piracicaba: ESALQ, 72p, 2013.

SOUZA, B. F.; TREVISAN, D. P.; MOSCHINI, L. E. **Aspectos Gerais da ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar**. Revista Brasileira de Iniciação Científica, v. 5, n. 5, p. 32-47, 2018.

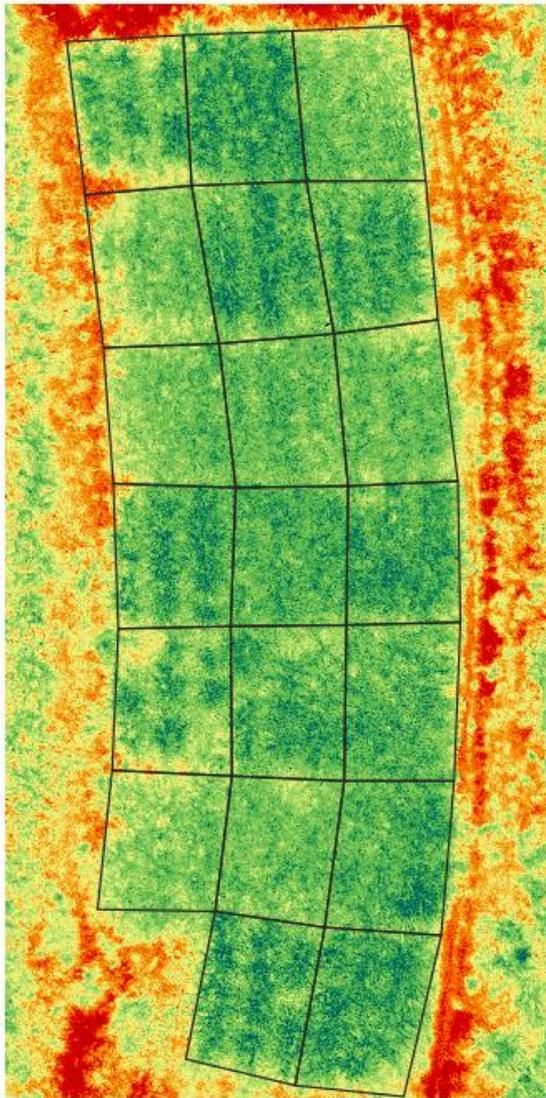
STEFFEN, C. A. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE Disponível em:  
<http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm#carlos>. Acesso em: 04 Junho. 2020.

VAN DILLEWIJN, C. **Botany of sugarcane**. Waltham: The Chronica Botanica Company, p. 371, 1952.

ZANZARINI, F. V. et al. **Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 17, n. 6, p. 608-614, 2013.

## APÊNDICE

**Apêndice A-** A esquerda distribuição espacial das parcelas e a direita croqui da área com as 3 linhas (L1, L2 e L3), com diferentes colorações representando os blocos (cinco) e cada parcela representada pelo número inicial referente ao número da parcela e a denominação C1 é representada pela variedade CTC 4, C2 a variedade CTC 9002, C3 a variedade CTC 9003 e C4 a variedade RB966928.



L1	L2	L3
3 - C1	2 - C3	1 - C2
4 - C3	5 - C2	6 - C4
9 - C1	8 - C4	7 - C1
10 - C3	11 - C4	12 - C2
13 - C4	14 - C3	15 - C2
18 - C4	17 - C1	16 - C1
	19 - C2	20 - C3

Fonte: Do Autor (2020).