



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



FERNANDO NICOLAU MENDONÇA

**DETECÇÃO DE LINHAS DE PLANTIO DA CANA DE AÇÚCAR POR MEIO DE
VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO**

Botucatu

2019

FERNANDO NICOLAU MENDONÇA

**DETECÇÃO DE LINHAS DE PLANTIO DA CANA DE AÇÚCAR POR MEIO DE
VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

Orientador: Prof. Dr. Zacarias Xavier De Barros

Botucatu

2019

M539d	<p>Mendonça, Fernando</p> <p>Detecção de linhas de plantio da cana de açúcar por meio de veículo aéreo não tripulado / Fernando Mendonça. -- Botucatu, 2019 61 p.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu</p> <p>Orientador: Zacarias Xavier de Barros</p> <p>1. Agricultura de Precisão. 2. Drone. 3. Vant. 4. Aerofotogrametria. I. Título.</p>
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.


CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: **“DETECÇÃO DE LINHAS DE PLANTIO DA CANA-DE-AÇÚCAR POR MEIO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO”**

AUTOR: FERNANDO NICOLAU MENDONÇA

ORIENTADOR: ZACARIAS XAVIER DE BARROS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ZACARIAS XAVIER DE BARROS
Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu


Prof. Dr. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA
Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu


Prof. Dr. CARLOS EDUARDO DE MENDONÇA OTOBONI
Faculdade de Tecnologia de Marília / Pompeia/SP

Botucatu, 29 de julho de 2019.

A mais eficiente forma de ensinar é e sempre será o exemplo. Aprendi essa valiosa lição quando, sem perceber, havia me tornado um professor, e como poderia ser diferente? Cresci observando como uma aula era preparada, me distraí por inúmeras vezes organizando provas em ordem alfabética, e quando pequeno qual era a alegria em ganhar um punhado de giz para riscar o chão?

Ao embarcar no mundo acadêmico, entendi que o conhecimento é contínuo e o aprendizado não deve parar, e por isso me faltava algo. Mais uma vez fui tomado pela mão e encorajado. Isso foi a 48 créditos atrás.

A história é longa e cheia de obstáculos, conquistas, lágrimas e gargalhadas, e enfim este ciclo se encerra, e é inteiramente dedicado a você, mãe!

AGRADECIMENTOS

À minha esposa, Carol, pela cumplicidade, paciência, por acordar cedo nos dias de viagem (mesmo sem querer acordar, você despertava com esse rinoceronte se trocando de madrugada, né), por entender o meu mau humor enquanto escrevia a dissertação, obrigado, obrigado, obrigado, minha linda!

À minha filha, Laurinha, por entender que o papai precisava ir estudar um pouquinho, e que sempre me recebia de volta em casa com um sorriso no rosto e um abraço bem bagunçado.

Ao meu pai, Joaquim, por me apoiar durante todo esse tempo e “segurar a onda” no escritório na minha falta.

À minha mãe, Claudia, Só ler a dedicatória, ok?

Ao meu orientador, Prof. Dr. Zacarias, por aceitar o desafio de me orientar.

À Fatec Shunji Nishimura, em especial à coordenação do curso de MAP, Profa. Dra. Susi e Profa. Dra. Marisa, e à direção da unidade Prof. Dr. Carlos Otoboni, agradeço o apoio e encorajamento recebidos nesses longos meses.

À Fundação Shunji Nishimura, casa da nossa querida Fatec, em especial ao Sr. Honda, por apoiar esta empreitada.

Enfim, a todos que, de uma forma ou de outra, se fizeram presentes em minha vida, ontem, hoje e sempre.

Obrigado, sem vocês nada disso seria uma realidade hoje.

Navegadores antigos tinham uma frase gloriosa:

"Navegar é preciso; viver não é preciso".

Quero para mim o espírito [d]esta frase, transformada a forma para a casar como eu sou:

Viver não é necessário; o que é necessário é criar.

Não conto gozar a minha vida; nem em gozá-la penso.

Só quero torná-la grande, ainda que para isso tenha de ser o meu corpo e a minha alma a lenha desse fogo.

Só quero torná-la de toda a humanidade; ainda que para isso tenha de a perder como minha.

Cada vez mais assim penso.

Cada vez mais ponho da essência anímica do meu sangue o propósito impessoal de engrandecer a pátria e contribuir para a evolução da humanidade.

É a forma que em mim tomou o misticismo da nossa Raça.

Fernando Pessoa

RESUMO

A aerofotogrametria com Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), tem se tornado uma grande fonte de informações em diversas áreas da atividade econômica mundial, entre elas a agricultura de precisão. O Brasil, destacando-se como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, apresenta nesse segmento um grande mercado consumidor de geoinformação, sobretudo no que diz respeito a mapas de plantio da lavoura para orientação de piloto automático. Esta dissertação parte da hipótese de que um determinado produtor rural necessita mapear as linhas de plantio de sua lavoura e, para isso, pretende valer-se de técnicas de aerofotogrametria com VANT. Portanto, a metodologia mais eficiente deve ser aplicada visando à redução dos custos operacionais para viabilizar o investimento. Foram mapeados três talhões em diferentes estágios de desenvolvimento da lavoura, 40, 80 e 110 cm de altura, e cada um desses talhões foi sobrevoado com três alturas de voo, 70, 110 e 150 metros. Ao final deste experimento concluiu-se que quanto maior a altura de voo, menor é o custo computacional para obtenção da ortofoto e menor é a resolução do produto, o que ocasiona dificuldades na identificação das linhas de plantio. Conclui-se que nos estágios iniciais de desenvolvimento a cultura deve-se utilizar um GSD de no máximo 5cm/pixel para observar-se o contraste entre as plantas e o solo. Já para estágios mais avançados, com a lavoura entre 80 e 110 centímetros os GSD de 6,5 cm/pixel entregaram produtos aptos a identificação das linhas de plantio.

Palavras-chave: Vant. Drone. Agricultura de precisão. Aerofotogrametria. Piloto automático.

ABSTRACT

Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry has become a major source of information in many areas of worldwide economic activity, including precision agriculture. Brazil, standing out as the world's largest producer of sugarcane, presents in this segment a large consumer market for geoinformation, especially with regard to crop planting maps for automatic pilot guidance. This dissertation is based on the hypothesis that a farmer needs to map the planting lines of his crop and for this he intends to use aerophotogrammetry techniques with UAV. Therefore, the most efficient methodology should be applied in order to reduce operating costs to make the investment viable. Three plots were mapped at different stages of development of the crop, 40, 80 and 110 cm, and each of these plots were flown at three flight heights, 70, 110 and 150 meters. At the end of this experiment it was concluded that the higher the flight height, the lower the computational cost to obtain the orthophoto and the lower the product resolution, which causes difficulties in the identification of the planting lines. It is concluded that in the early stages of development the crop should use a maximum GSD of 5cm / pixel to observe the contrast between plants and soil. Already for more advanced stages, with the crop between 80 and 110 cm the GSD of 6.5 cm / pixel delivered products able to identify the planting lines.

Keywords: UAV. Drone. Precision agriculture. Aerophotogrammetry. Auto Pilot.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Geometria entre a foto e a cena	28
Figura 2 - Geometria entre a foto e a cena quando o terreno é irregular	29
Figura 3 - Relação entre o pixel e o terreno	30
Figura 4 - Sobreposições lateral e longitudinal	31
Figura 5 - Cana-de-açúcar medindo 40 cm de altura média - Talhão 01	42
Figura 6 - Plano de voo a 70m de altura - do Talhão 01	42
Figura 7 - Plano de voo 110m de altura – do Talhão 01	43
Figura 8 - Plano de voo 150m de altura – do Talhão 01	43
Figura 9 - Cana 110cm de altura média Talhão 02	45
Figura 10 - Plano de voo 70m do Talhão 02	45
Figura 11 - Plano de voo 110m do Talhão 02	45
Figura 12 - Plano de voo 150m do Talhão 02	46
Figura 13 - Cana 90cm de altura média Talhão 03	47
Figura 14 - Plano de voo 70m do Talhão 03	47
Figura 15 - Plano de voo 110m do Talhão 03	48
Figura 16 - Plano de voo 150m do Talhão 03	48
Figura 17 - Ortofotos do Talhão 01	52
Figura 18 - Comparação entre os diferentes GSD - Talhão 01	53
Figura 19 - Ortofotos do Talhão 02	53
Figura 20 - Comparação entre os diferentes GSD Talhão 02	54
Figura 21 - Ortofotos do Talhão 03	54
Figura 22 - Comparação entre os diferentes GSD Talhão 03	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tempo de voo em cada altura e total de fotos obtidas no Talhão 01	44
Tabela 2 - Tempo de voo em cada altura e total de fotos obtidas no Talhão 02	46
Tabela 3 - Tempo de voo em cada altura e total de fotos obtidas no Talhão 03	49
Tabela 4 - Tempo de processamento das imagens do Talhão 01	50
Tabela 5 - Tempo de processamento das imagens do Talhão 02	50
Tabela 6 - Tempo de processamento das imagens do Talhão 03	50
Tabela 7 - Volume de dados gerados para o Talhão 01	51
Tabela 8 - Volume de dados gerados para o Talhão 02	51
Tabela 9 - Volume de dados gerados para o Talhão 03	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado
- ISPRS - *International Society for Photogrammetry and Remote Sensin*
- GNSS - *Global Navigation Satellite System*
- GDS - *Ground Sample Distance*
- UAV - *Unmanned Aerial Vehicle*
- DoD - *Departament of Defense*
- OSGeo - *Open Source Geospatial Foundation*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
2	REVISÃO DE LITERATURA	25
2.1	Colheita mecanizada da cana-de-açúcar	25
2.2	Piloto automático agrícola	26
2.3	Aerofotogrametria	27
2.3.1	Geometria da fotografia	27
2.3.2	Tamanho do pixel	28
2.3.3	Plano de voo	31
2.3.4	Fototriangulação	32
2.3.5	Restituição fotogramétrica	33
2.3.6	Ortofoto	34
2.4	Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT	34
3	MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1	Material	36
3.1.1	Área de estudo	36
3.1.2	Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT	36
3.1.3	Aplicativos e programas de computador	37
3.1.4	Receptor GPS	38
3.1.5	Computador	38
3.2	Métodos	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1	Tempo de voo	41
4.1.1	Talhão 01	41
4.1.2	Talhão 02	44
4.1.3	Talhão 03	44
4.2	Tempo de processamento das imagens	48
4.3	Volume de dados gerados	50
4.4	Qualidade das imagens	52

4.4.1	Talhão 01	52
4.4.2	Talhão 02	53
4.4.3	Talhão 03	54
5	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	57
	REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, possui uma área plantada, na safra 2018/19, de aproximadamente 8,59 milhões de hectares. Assim sendo, tornou-se um promissor exportador de produtos derivados desse cultivar, fato justificado pelo aumento da demanda mundial por etanol, de fontes renováveis, abertura de mercados novos na União Europeia e o baixo estoque do produto. Todos esses fatores combinados têm tornado o Brasil um país promissor para a exportação de produtos da cana-de-açúcar, tais fatores são aliados às grandes áreas cultiváveis e condições edafoclimáticas favoráveis à cana-de-açúcar no Brasil (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2019).

As exigências de um mundo globalizado sugerem a mecanização total da colheita de cana-de-açúcar como a opção que permitirá atender simultaneamente aos requisitos ergonômicos, à viabilidade econômica e às exigências legais e ambientais atuais, visto que se torna possível realizar a colheita sem queima prévia da lavoura.

Com foco no aumento da eficiência na cadeia produtiva da cana-de-açúcar, as técnicas de agricultura de precisão estão cada vez mais presentes neste cultivo, objetivando reduzir o consumo de insumos agrícolas e otimizar processos, diminuindo, assim, o custo final da produção do etanol e outros derivados da cana de açúcar. O uso de sistemas de orientação por satélites das máquinas agrícolas exerce papel fundamental na otimização do uso desses equipamentos, aplicando o uso do chamado piloto automático, o que torna a operação mais eficiente.

O princípio do funcionamento do piloto automático baseia-se em direcionar a máquina agrícola, seja ela uma colhedora seja adubadora, em um trajeto preestabelecido. Assim, a partir de um mapa digital introduzido na memória de seu computador de bordo, contendo os caminhos a serem percorridos, incrementa-se a repetibilidade do trajeto da máquina e por consequência o aumento da eficiência do tráfego na lavoura. Relatos de produtores de cana-de-açúcar indicam que somente a utilização de piloto automático na colheita da lavoura aumentaria de 5% a 10% os ganhos com a safra.

Tendo em vista esse grande atrativo para o produtor rural, nesta dissertação assume-se a seguinte hipótese: um produtor sucroalcooleiro pretende adotar a tecnologia de colheita guiada por piloto automático, porém não possui o mapa do plantio de sua lavoura, conseqüentemente, não há informação para orientação das

máquinas. Entre as diversas opções para obtenção dessas informações está a aerofotogrametria executada por meio dos chamados VANTs – Veículos Aéreos Não Tripulados.

O presente trabalho teve como objetivo testar uma metodologia para obtenção de imagens aerofotogramétricas (ortofotos), geometricamente confiáveis, para detectar linhas de plantio de cana-de-açúcar.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Colheita mecanizada da cana-de-açúcar

Segundo Ripoli (1996), pode-se classificar a operação de colheita de cana-de-açúcar em três subsistemas distintos: manual, semimecanizado e mecanizado. Esta classificação deriva do fato de existir um procedimento complexo que envolve desde o corte, o carregamento, o transporte até a recepção da produção ao seu destino. O subsistema mecanizado diferencia-se, pois as operações de corte, carregamento e transporte ocorrerem exclusivamente por meio de máquinas.

A colheita da cana-de-açúcar, de acordo com Salvi, Matos e Milan (2007), destaca-se pelos altos custos envolvidos e pelas dificuldades operacionais, seja ela manual, semimecanizada, seja mecanizada, sendo esse um fator de alto impacto na cadeia produtiva. A colheita é a etapa de produção da cana-de-açúcar que mais sofre mudanças em razão das novas exigências legais e pela necessidade de minimização dos custos da cadeia produtiva.

O tipo de colheita da cana-de-açúcar influencia não somente a produção mas também a longevidade da lavoura, os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, o meio ambiente e até traz impactos na saúde pública. Quando se trata de colheita manual, o trabalhador realiza o corte com o uso de ferramentas como o facão e a cana-de-açúcar é carregada inteira nos caminhões, com o uso de guinchos mecânicos. Nesta safra, o percentual de colheita manual foi de 3% na Região Centro-Sul, onde se concentra a maior parte da produção. Na Região Norte/Nordeste, de 74,6%. Para efeito de comparação, o Centro-Sul já havia atingido um percentual menor na safra 2007/08, 71,5%. Sendo assim, a média brasileira de corte manual de cana-de-açúcar registrou um forte decréscimo, saindo de 75,6% da produção total na safra 2007/08 para 8,4% na atual safra (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2019).

Algumas peculiaridades presentes no ato da colheita mecanizada de cana-de-açúcar estão relacionadas às interações solo-máquina-planta e têm preocupado os agricultores, como as perdas de cana no campo, a redução da qualidade da matéria-prima e a redução da longevidade do canavial (SALVI; MATOS; MILAN, 2007).

2.2 Piloto automático agrícola

Com o intuito de aprimorar as atividades de manejo da lavoura, surgiu a tecnologia conhecida como sistema automático de direcionamento, ou ainda piloto automático, na qual o equipamento embarcado direciona o caminho que a máquina deve percorrer, baseado em informações obtidas por satélite, minimizando o esforço do operador e aprimorando a precisão da operação (MOLIN; CARREIRA, 2006).

O piloto automático realiza a condução automática do trator paralelamente a uma linha referência de plantio, eliminando sobreposição e traçando espaçamento uniforme entre linhas em todo o campo, ou ainda percorrendo um caminho previamente determinado por um mapa (INAMASU *et al.*, 2011).

Segundo Baio e Moratelli (2011), é possível gerar o mapa-base para a colheita quando as máquinas, dotadas de piloto automático, executam o plantio da lavoura, em que caminho percorrido é registrado pelo computador de bordo. Este mapa é utilizado futuramente para operações como adubação, aplicação de defensivos e colheita. Ou seja, para executar o controle de tráfego via piloto automático necessita-se de um mapa-base para orientação das máquinas.

Em face da busca para a correção do manejo, verificou-se o emprego de maior precisão nas operações agrícolas, pode-se dizer que houve um avanço significativo implementado pelo setor de máquinas e equipamentos e o produtor rural cada vez mais busca tecnologias para aumento da eficiência no campo. Como se trata de uma tecnologia em expansão, muitas vezes o produtor não possui o mapa-base para guiar as máquinas agrícolas, tornando os equipamentos subutilizados, ou até mesmo inibindo a aquisição de uma máquina equipada com piloto automático (INAMASU *et al.*, 2011).

A obtenção desse mapa-base requer algumas ferramentas, tais como o Sistema de Posicionamento Global por Satélite – do inglês *Global Navigation Satellite System* (GNSS) –, que percorre linha a linha tomando pontos para geração do mapa; tem-se, ainda, a topografia convencional e a tecnologia mais viável, a aerofotogrametria por VANTs, esta última sendo o objeto de estudos desta dissertação.

2.3 Aerofotogrametria

De acordo com a *International Society for Photogrammetry and Remote Sensin* (ISPRS), Fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informações confiáveis sobre os objetos físicos e o meio ambiente por intermédio de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões da energia eletromagnética adiante e outros fenômenos.

A Fotogrametria evolui constantemente, especialmente os instrumentos e processos empregados. Segundo Abib (1983), Françóis Arago, ao apresentar a invenção da fotografia à Academia de Ciências da França, em 1839, colocou entre as suas eventuais aplicações o mapeamento topográfico, fato ocorrido pela primeira vez em 1858, na construção da Carta da França com o Cel. Aimée Laussedat. Desde então esta técnica se encontra na vanguarda tecnológica, evoluindo em conjunto com as inovações científicas.

De acordo com Andrade (1998), as grandes aplicações da aerefotogrametria encontram-se na elaboração de mapas em conjunto com outras ciências, como a geodésia e a cartografia. Neste campo, as imagens são base para mapeamento de pontos na superfície terrestre, para mapear objetos como redes de drenagem, florestas, redes viárias, feições geológicas e até culturas implantadas em determinada região.

O mapeamento por aerofotogrametria é realizado por métodos de **Triangulação Fotogramétrica** ou **Aerotriangulação**; A confecção da carta ou mapa utiliza métodos de **restituição fotogramétrica** (ANDRADE, 1998).

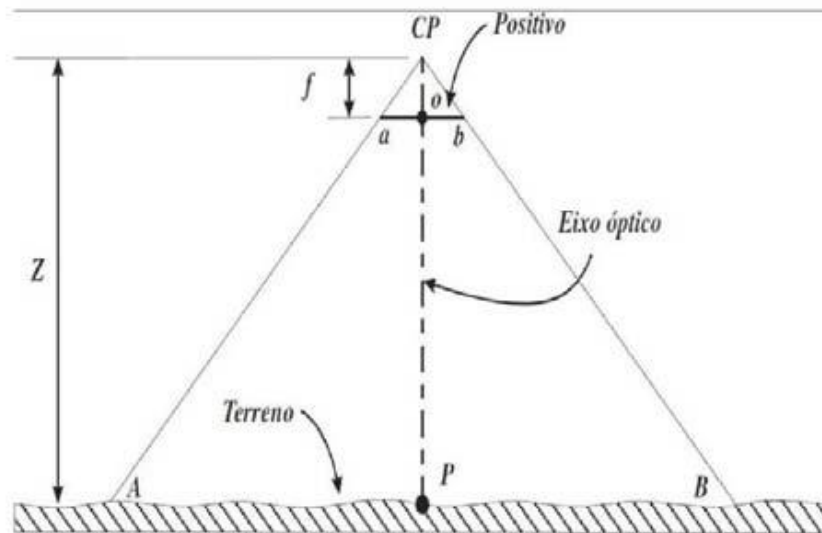
2.3.1 Geometria da fotografia

Segundo Wolf (1995), ao fotografar um objeto qualquer, esta imagem pode ser classificada de acordo com a sua geometria, podendo ser classificada como alto oblíqua, baixo oblíqua e vertical, esta última se refere a quando a foto é tirada quando o eixo óptico se encontra perpendicular ao terreno.

As tomadas de fotografias com eixo não perpendicular, alto oblíquas e baixo oblíquas, apresentam algumas vantagens como a representação de extensa área e a caracterização do relevo, mas sua aplicação não é adequada para mapeamento, por limitações geométricas e excesso de distorções, como esclarece Ruy (2008).

Fotografias verticais possibilitam a obtenção de uma relação geométrica entre a fotografia e o objeto a ser mapeado, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Geometria entre a foto e a cena



Fonte: Brito e Coelho Filho (2007).

- f corresponde à distância focal;
- AB é a distância no terreno;
- ab indica a distância medida na imagem;
- Z informa a altura de voo.

Por semelhança de triângulos, ab está para AB assim como f está para Z :

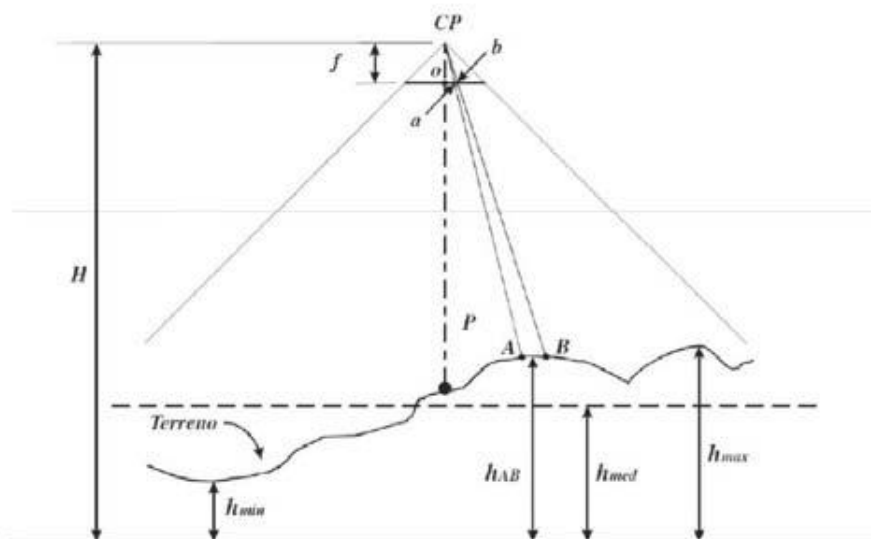
$$\frac{f}{z} = \frac{ab}{AB}$$

Apesar da relação entre as medidas na fotografia e na cena, as mesmas possuem sistemas de coordenadas diferentes. Os dados mostrados exibem a relação entre o objeto e a foto. A superfície da cena no exemplo prévio é plana, mas quando a mesma é irregular, determina-se outra expressão:

$$\frac{f}{H - h_{AB}} = \frac{ab}{AB}$$

A Figura 2 representa a relação geométrica entre o plano da tomada da fotografia em uma situação de terreno irregular.

Figura 2 - Geometria entre a foto e a cena quando o terreno é irregular



Fonte: Brito e Coelho Filho (2007).

Sendo,

- H: Altitude da câmara;
- h_{AB} : Média da altitude dos pontos A e B.

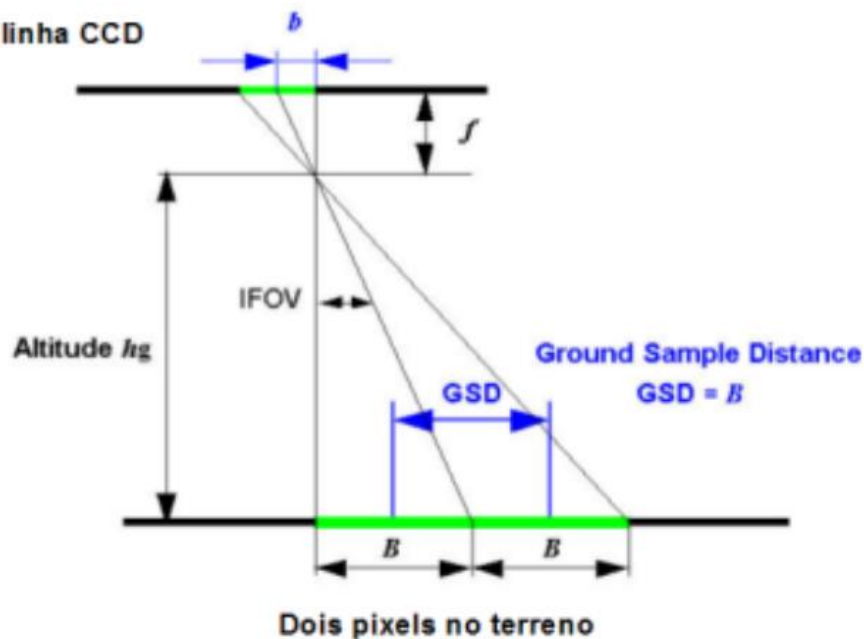
Os exemplos apresentados estão relacionados a uma única fotografia, mas no caso de um voo aerofotogramétrico, mais de uma fotografia é tirada do mesmo objeto, em diversas posições, tornando possível extrair as suas medidas tridimensionais.

2.3.2 Tamanho do pixel

Pixel é um termo em inglês derivado das palavras *Picture Element* e corresponde a menor unidade de uma fotografia digital. Assim sendo, uma imagem nada mais é do que uma matriz de pixels, em que cada elemento recebe um nível de cinza, para imagens monocromáticas, ou um nível de RGB (*Red/Green/Blue* – Vermelho/Verde/Azul) (ESTEIO, 2008).

Quando se relaciona o pixel à escala do objeto fotografado, ou seja, quando o tamanho do pixel representa uma distância real no terreno, determina-se a resolução da imagem, o chamado GSD (*Ground Sample Distance*). O GSD é relacionado diretamente com a altura da tomada da fotografia em relação ao solo, com a distância focal da câmara e com o tamanho do pixel no sensor (CUNHA *et al.*, 2016). A Figura 3 ilustra a relação geométrica entre o pixel e o terreno:

Figura 3 - Relação entre o pixel e o terreno



Fonte: Cunha *et al.* (2016).

Para determinar o GSD das imagens, os seguintes parâmetros são utilizados:

b – Tamanho do pixel no sensor

f – Distância focal da lente

hg – Altura do voo

imW e imH – Quantidade de linhas e colunas na imagem (pixel)

GSD – *Ground Sample Distance* – Distância entre o centro de dois pixels vizinhos

Para determinação do GSD utiliza-se a equação 01, apresentada a seguir,

$$\frac{hg}{f} = GSD/b$$

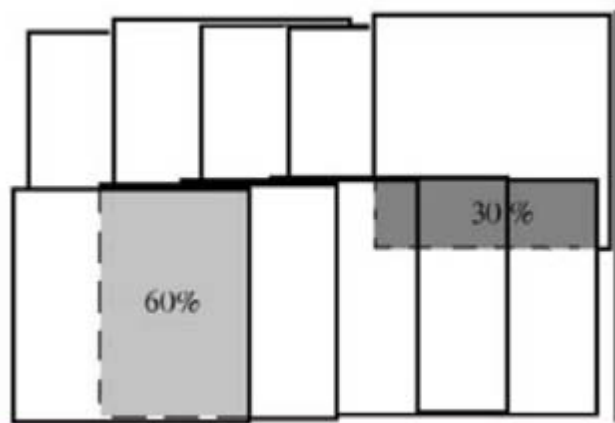
Assim sendo, a cada altura de voo, um GSD diferente é obtido.

2.3.3 Plano de voo

O mosaico fotogramétrico é a ampliação da vista da área fotografada, originando uma impressão de continuidade, ou seja, a união de várias fotografias formando uma apenas no final.

Para entender a formação dos mosaicos, é preciso compreender que existem imagens sobrepostas em um recobrimento aéreo. Nesses casos, o número de fotografias é maior, mas, mesmo assim, permite maior operacionalidade dessas fotos. Existe a sobreposição lateral, cujo valor é geralmente 30% e ocorre entre as faixas do bloco. Há também a sobreposição longitudinal, geralmente superior a 60% e que ocorre entre as fotografias. A Figura 4 traz um exemplo de fotografias com os dois tipos de sobreposição.

Figura 4 - Sobreposições lateral e longitudinal



Fonte: Brito e Coelho Filho (2007).

Os mosaicos, segundo Wolf (1995), podem ser classificados em controlados, semicontrolados e não controlados. Essa classificação varia de acordo com o processo de produção e com o nível de controle.

A construção dos mosaicos controlados é feita com base em fotografias retificadas na mesma escala. Para isso, utilizam-se pontos de controle, os quais são impressos em uma folha-base sobre a qual são ajustadas as fotografias retificadas. Essas fotografias retificadas são imagens que consistem em modificar os ângulos referentes à atitude da câmara, bem como à distância focal, resultando em projetá-la, para um plano horizontal, segundo seu feixe perspectivo (ANDRADE, 1998). Na ortorretificação são eliminadas as distorções causadas pelo relevo da área

fotografada, pois, conforme Meneses (2007), há uma mudança da perspectiva cônica para a perspectiva ortogonal.

Os mosaicos não-controlados são ideais para aqueles que não precisam de muita precisão, pois como são feitos por meio da justaposição das fotografias e pela observação de seus detalhes, são mosaicos de elaboração rápida. Um tipo de mosaico não controlado especial é a foto índice, sendo visto nessas identificações cada fotografia que forma o bloco e a capacidade de inserir a toponímia das mais importantes feições da área que foi fotografada.

E, por fim, existem os mosaicos que misturam características dos mosaicos controlados e não-controlados, sendo chamados de mosaicos semicontrolados. Esse tipo de mosaico é formado com base em fotografias aéreas retificadas ou não, sem ponto de controle ou com ponto de controle, respectivamente, estes são direcionados para aqueles que precisam unir precisão e economia.

2.3.4 Fototriangulação

Consiste na definição de coordenadas de pontos de interesse no espaço objeto, objetivando obter coordenadas precisas para os pontos suficientes à orientação de modelos fotogramétricos possibilitando a restituição ou elaboração de ortofotos. É necessário conhecer a relação geométrica entre as fotografias adjacentes, o controle de campo com pontos de apoio, e o conjunto de valores aproximados de parâmetros de orientação da fotografia para, desta maneira, se obter a fototriangulação (ANDRADE, 1998).

Normalmente os pontos usados na fototriangulação situam-se na região denominada Von Grüber da fotografia. Podendo ser pontos de ligação (*tie points*) ou de apoio terrestre. Considerando-se um bloco de fotografias, os pontos de apoio terrestre localizam-se nas extremidades e nas junções entre as faixas. A quantidade de pontos de apoio variará de acordo com o planejamento do projeto.

O planejamento inicia-se na cobertura fotogramétrica. Nesse contexto é imprescindível o conhecimento do número de pontos de campo, a realização de um voo apoiado e considerar todos os fatores que possam modificar procedimentos futuros, tornando assim a triangulação confiável. Os pontos fotogramétricos e de apoio terrestre são os tipos de ponto executados na Fototriangulação, ao passo que os

pontos de apoio são obtidos por meio de um referencial geodésico, para que as informações que resultam desse processo possam permitir intercâmbio com informações oriundas de diversas fontes.

Segundo Brito e Coelho Filho (2007), a fototriangulação por feixe de raio é uma resseção espacial simultânea à execução da interseção espacial para um conjunto de imagens digitais do terreno. Esta resseção espacial é um método que gera parâmetros de orientação exterior para a interseção espacial usada nas coordenadas de um ponto do espaço objeto, estando este presente pelo menos em duas fotografias. Neste modelo, uma foto é avaliada como um feixe de retas, e cada uma delas é descrita pela condição de colinearidade de três pontos. Na fototriangulação por feixe de raios, método exclusivamente analítico, os parâmetros de orientação exterior das imagens trabalhadas são obtidos por meio de um único ajuste.

2.3.5 Restituição fotogramétrica

Brito e Coelho Filho (2007) definiram restituição fotogramétrica, como a interpretação das inúmeras feições naturais ou artificiais do terreno e sua extração das referências geográficas ao espaço-objeto. A restituição fotogramétrica (estereoscopia) está baseada, geralmente, em um estereopar, desenvolvido por intermédio de múltiplas fotografias do objeto, o qual se baseia no desenho projetivo e na perspectiva exata, determinando-se as posições no espaço (restituição) dos pontos de interesse a partir da interseção dos raios luminosos que atravessam o centro óptico (centro perspectivo) e nos pontos homólogos existentes nas várias fotos.

Com a utilização de instrumentos fotogramétricos é possível elaborar um mapa ou parte dele (restituição), com base em dados de controle geodésico e de fotografias aéreas (OLIVEIRA, 1993). Corroborando com Hasegawa (2004), os restituidores podem ser analógicos, analíticos ou digitais. O esboço inicial desse mapa, que já possui as informações dos pontos no espaço objeto, é chamado de minuta de restituição, os restituidores realizam de uma forma matemática a projeção dos feixes perspectivos na reconstrução, o que elimina os erros gerados pelos componentes mecânicos ou óticos, essas informações geradas são mais flexíveis e maleáveis no seu uso pelo fato de serem numéricas.

2.3.6 Ortofoto

A evolução tecnológica deu origem a um produto denominado ortofotocarta, em que a fotografia caracteriza o próprio mapa, quando devidamente tratada e somada a informações relevantes, o que só foi possível com utilização da Fotogrametria Digital. Cabe ressaltar que a fotografia bruta não pode substituir mapas topográficos, pois a fotografia representa uma realidade de uma projeção cônica central, ao passo que o mapa topográfico é gerado em projeção ortogonal à superfície mapeada.

Para uma fotografia aérea assemelhar-se a uma carta topográfica, quantitativamente, deveria apresentar o terreno perfeitamente plano e horizontal; a perfeita verticalidade do eixo ótico da câmara fotogramétrica; e a linha de voo perfeitamente horizontal, sem variações na altitude do voo entre as sucessivas estações de tomadas das fotografias (LIMA; LOCH, 1998).

Em razão da impossibilidade dessa situação ideal ocorrer, é preciso proceder a ortorretificação dessas fotografias. Essa técnica utiliza informações de inclinação, posição e distorção da câmara aérea no instante da tomada das fotografias, além de informações do terreno obtidas por meio de um modelo digital. Assim, a ortorretificação elimina as distorções relativas à atitude da câmara (rotações nos três eixos X, Y e Z), elimina as distorções devidas ao relevo da área fotografada e transforma a perspectiva cônica para a ortogonal (LIMA; LOCH, 1998).

2.4 Veículo Aéreo Não Tripulado - VANT

Os avanços na engenharia de controle e da ciência dos materiais possibilitaram o desenvolvimento de pequenos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), que podem ser equipados com câmaras fotográficas ou outro tipo de sensor. Essa inovação permite que o homem visualize o meio ambiente na perspectiva de um pássaro. Essa tecnologia foi originada para aplicações militares e recentemente está sendo oferecida no mercado comercial, chamando muita atenção. Ter acesso a imagens aéreas de grandes áreas é de grande valia para diversas aplicações, como por exemplo em situações de desastres naturais, em que as informações nem sempre são precisas para as equipes de resgate. Nessas situações, câmaras aerotransportadas são

valiosas fontes de informação sobre a situação do meio ambiente (QUARITSCH, 2008).

A obtenção de dados para mapeamento por meio de voo fotogramétrico tripulado ou até mesmo por sensores de órbitas apresenta custo muito elevado, inviabilizando projetos em que se deseja realizar uma análise temática de pequenas áreas. Informações obtidas por aeronaves não tripuladas com sensores de pequeno formato (35 mm) têm sido empregadas constantemente e com sucesso na captura dessas informações (CUNHA; BULLA; HARTMANN, 2009).

Pérez, Agüera e Carvajal (2011), em seu trabalho de calibração de uma câmera digital, advertem que para a calibração de câmeras é necessário determinar com precisão os parâmetros da orientação interior do equipamento, e que para resultados mais precisos de calibração as amostras de imagens devem ser tomadas sob condições semelhantes ao campo, ou seja, sob as condições de trabalho, como deverá ser encontrada nos projetos fotogramétricos de UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*).

Conhecer o tamanho do sensor de imagem e a distância focal equivalente da lente da câmera digital é de fundamental importância pois esses fatores determinam diversos parâmetros do recobrimento fotogramétrico. As dimensões do sensor definem a área no terreno fotografada pela câmera, ao passo que a distância focal, em razão da escala fotográfica desejada, determinará a altura de voo da aeronave (DISPERATI; AMARAL; SCHULER, 2007).

Pérez, Agüera e Carvajal (2011) também citam que comumente os parâmetros encontrados por meio de procedimentos de calibração da câmera incluem a distância computada principal ou a distância focal (f) da lente, parâmetros (x_0, y_0) , que denotam as coordenadas do centro de projeção da imagem (ponto principal), e os coeficientes de distorção da lente (k_1, k_2, k_3, P_1, P_2), em que os termos k_i representam coeficientes de distorção radial da lente e termos P_1 e P_2 representam os coeficientes de distorção de descentramento provocados pela falta de centralização de elementos de lente. Para Fryer (1996), distorções radiais e descentramento constituem as aberrações que afetam a localização das imagens.

A principal vantagem de um sistema de VANT, atuando como uma plataforma aérea, sobre os aviões tradicionais e tripulados para levantamentos terrestres é a grande flexibilidade que permite a aquisição de imagens a partir de pontos de vista não convencional (IRSCHARA *et al.*, 2010).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1 Área de estudo

Foram estudados três talhões de plantio de cana-de-açúcar, cedidos por empresas para este experimento, onde a coleta de dados foi executada, sendo cada uma dessas áreas denominadas a partir deste momento como Talhão 01, Talhão 02 e Talhão 03. O Talhão 01 situa-se no município de Sertãozinho-SP, cujas coordenadas geográficas são latitude 21°11'53"S e longitude 47°41'23"W; já o Talhão 02 localiza-se em Cidade Gaúcha-PR, coordenadas geográficas latitude 23°17'7.33"S e longitude 53°0'02"W; e o Talhão 03 está localizado no município de Santa Mercedes-SP, e pode ser encontrado a partir das coordenadas geográficas latitude 21°10'29" S e longitude 51°32'18"W.

Tais talhões foram selecionados por apresentar diferentes estágios de desenvolvimento da cultura, ou seja, em cada situação uma altura da planta diferente, sendo que no Talhão 01 a cana media 40 centímetros de altura, no Talhão 02, 110 centímetros e no último medindo 80 centímetros. A determinação da altura da lavoura foi determinada com o uso de uma trena metálica, desde o solo até o seu topo. Em cada talhão, pelo menos 20 medidas foram tomadas, e foi adotado a média entre esses valores.

3.1.2 Veículo Aéreo Não Tripulado - VANT

Para obtenção das imagens foi utilizado um VANT fabricado pela DJI, modelo Phantom 3 Advanced, dotado de sensor RGB de 12 megapixels com quadro de 3000 por 4000 pixels medindo 6,16 por 4,62 milímetros e distância focal de 0,02m equivalente.

Para orientação de voo, o DRONE é dotado de Sistema Global de Posicionamento por Satélite – GNSS (GPS e Glonass).

A estabilidade da câmara na posição ortogonal ao plano tangente do local é garantida por um *gimble* ativo movido por 3 servomotores elétricos sem escova (*brushless*).

O VANT é movido à energia elétrica fornecida por uma bateria de 4480mAh que proporciona aproximadamente 23 minutos de voo, segundo o fabricante. Apesar da fabricante declarar este tempo de voo, por medidas de segurança, os voos realizados respeitavam o limite de 25% de bateria restante, assim o retorno do equipamento e seu pouso aconteceram sempre com o máximo de 18 minutos de missão.

Este equipamento tem a capacidade de voar a até 500 metros de altitude em relação ao ponto de decolagem, limitado por seu sistema de controle eletrônico. Neste experimento, as alturas de voo analisadas foram de 70, 110 e 150 metros, ou seja, muito abaixo do limite operacional da aeronave.

3.1.3 Aplicativos e programas de computador

Foram utilizadas para esse estudo duas categorias de programas e aplicativos, para *desktop* e para *mobile*. Os aplicativos móveis (*mobile*) foram destinados para uso em campo, no planejamento e na execução dos voos. Já os programas de uso *desktop* foram utilizados para processamento das imagens obtidas para obtenção da ortofoto. Sendo assim, os aplicativos e programas de computador utilizados foram:

- *Drone Deploy* – Aplicativo móvel gratuito para ambiente iOS e Android, utilizado para planejar e executar o voo em campo.
- *Agisoft PhotoScan* – é um programa de computador fotogramétrico autônomo para geração automática de nuvens de pontos densos, texturizados, modelos poligonais, ortomosaicos georreferenciados, modelo digital de terreno e modelo digital de superfície. Neste experimento foi utilizada uma licença de avaliação, fornecida pela fabricante do programa de computador.
- QGIS – É um programa de Sistema de Informação Geográfica com código aberto e licenciado sob a Licença Pública Geral GNU. O QGIS, como também é chamado, é um projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo). Pode ser utilizado em Linux, Unix, Mac OSX, Windows e Android, neste estudo foi utilizado para análise visual das ortofoto obtidas.
- Google Earth - é um programa de computador desenvolvido e distribuído pela empresa estadunidense do Google cuja função é apresentar um

modelito tridimensional do globo terrestre, construído a partir de mosaico de imagens de satélite obtidas de fontes diversas, imagens aéreas.

3.1.4 Receptor GPS

Para obtenção das coordenadas dos pontos de apoio de controle horizontal e vertical (HV), fez-se uso de um par de receptores GPS – Sistema de Posicionamento Global –, de dupla frequência, marca Leica modelo GPS900, valendo-se da técnica de posicionamento relativo estático rápido.

3.1.5 Computador

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado um computador com alta capacidade de processamento, de acordo com a recomendação da empresa desenvolvedora do programa PhotoScan, assim sendo, a configuração utilizada foi:

- Processador: Intel Core i7 3.3GHz 8 núcleos de processamento;
- Unidades de armazenamento: SSD 250Gb e HD 1TB;
- Placa gráfica: Asus Poseidon 780 – 3Gb 382 bit;
- Memória RAM: 64Gb.

Apesar de ser extremamente relevante a utilização de um computador robusto como este para o processamento das imagens, os resultados deste experimento foram apresentados de forma comparativa, ou seja, a análise da eficiência das metodologias propostas será válida para qualquer que seja o equipamento utilizado em futuras aplicações das metodologias aqui apresentadas.

3.2 Métodos

Este estudo apresenta, ao final, ortofotos obtidas com diferentes resoluções (3,5, 5,0 e 6,5 cm/pixel), e em diferentes estágios de desenvolvimento da cana – 40, 90 e 110cm de altura –, totalizando nove ortofotos. Todo o processo desde o voo com o VANT até a geração da ortofoto foi analisado passo a passo e apresentado o tempo gasto por hectare em cada uma das etapas.

As ortofotos obtidas foram analisadas quanto à viabilidade ou não de vetorização manual das linhas de plantio de cana-de-açúcar, ou seja, se houve ou não contraste visual entre o solo e a linha de plantio da cana em virtude das diferentes resoluções obtidas.

A área objeto de estudo foi delimitada inicialmente por um arquivo no formato KML, extensão de arquivo amplamente utilizada e de fácil visualização, como exemplo pode-se abrir um arquivo KML do programa Google Earth. Tal perímetro foi fornecido pelas empresas parceiras deste estudo, sendo essa uma situação padrão no dia a dia de um profissional que atua com aerolevantamentos.

Com o aplicativo *Drone Deploy* foi elaborado o plano de voo para cada um dos talhões objeto de estudo, e cada Talhão foi sobrevoado três vezes, com diferentes alturas de voo – 70, 110 e 150 metros – a fim de obter diversas resoluções de imagens, variando assim a produtividade do levantamento, não só em termos de tempo de voo como em volume de dados obtidos para processamento computacional.

O aplicativo *Drone Deploy* apresenta algumas informações estimadas para cada plano de voo, o que é apresentado a seguir para cada uma das campanhas aerofotogramétricas.

voo 01:

- Altura de voo: 70m
- Resolução esperada da ortofoto: 3,5 cm/px
- Inclinação da Câmera: Vertical
- Sobreposição longitudinal: 80%
- Sobreposição lateral: 70%
- Tempo estimado de voo:
 - Talhão 01: 16min 55s
 - Talhão 02: 15min 25s
 - Talhão 03: 20min 25s.

voo 02:

- Altura de voo: 110m
- Resolução esperada da ortofoto: 4,7 cm/px
- Inclinação da Câmera: Vertical
- Sobreposição longitudinal: 80%

- Sobreposição lateral: 70%
- Tempo estimado de voo:
 - Talhão 01: 09min 17s;
 - Talhão 02: 08min 14s;
 - Talhão 03: 13min 20s.

voo 03:

- Altura de voo: 150m
- Resolução esperada da ortofoto: 6,4 cm/px
- Inclinação da Câmera: Vertical
- Sobreposição longitudinal: 80%
- Sobreposição lateral: 70%
- Tempo estimado de voo:
 - Talhão 01: 07min 37s;
 - Talhão 02: 06min 23s;
 - Talhão 03: 07min 18s.

Para cada uma das nove ortofotos obtidas, ou seja, três para cada um dos três estágios de crescimento da cana, os seguintes parâmetros foram avaliados:

Tempo de voo – segundos por hectare;

Tempo de processamento das imagens – segundos por hectare;

Quantidade total de informações geradas – megabytes.

O tempo de voo foi considerado como o intervalo entre decolagem e pouso, obtidos pelo relatório de voo fornecido pelo sistema do aplicativo DroneDeploy. Para o tempo de processamento das imagens foram considerados os valores apresentados no relatório de processamento obtido ao final do processamento das fotos no programa de computador *PhotoScan*. Enfim, a quantidade total de informações geradas foi calculada em megabytes, somando todas as informações geradas até a obtenção da ortofoto.

Ao final será avaliado, entre as diversas imagens, qual metodologia apresenta melhor eficiência para a geração da ortofoto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados divididos por talhões, ressaltando quatro pontos de análise:

1. Tempo de voo – segundos por hectare;
2. Tempo de processamento – minutos por hectare;
3. Volume de dados gerados – megabytes por hectare;
4. Qualidade da imagem.

A análise da eficiência dos levantamentos foi desenvolvida levando-se em consideração o tempo total gasto nas operações.

4.1 Tempo de voo

Os resultados apresentados a seguir foram obtidos imediatamente após o voo, explicitando a dimensão da área sobrevoada e a relação do tempo dispendido para cada uma das campanhas. Outro dado apresentado é a quantidade de fotos obtidas para cada situação proposta, dado esse bastante relevante para as etapas de processamento das imagens.

4.1.1 Talhão 01

O Talhão 01 foi visitado no dia 06 de junho de 2018, medindo 12,46 hectares, de acordo com o perímetro apresentado pela empresa parceira. O Talhão apresentava um desenvolvimento da cana com média de 40cm de altura (Figura 5).

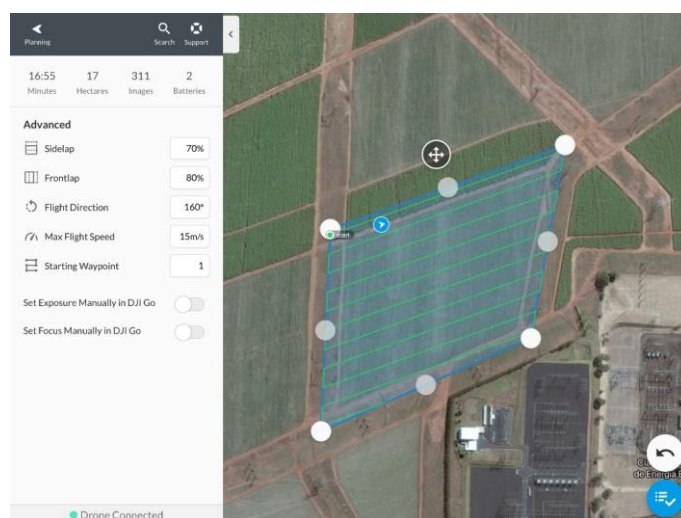
Figura 5 - Cana-de-açúcar medindo 40 cm de altura média - Talhão 01



Fonte: O Autor (2018).

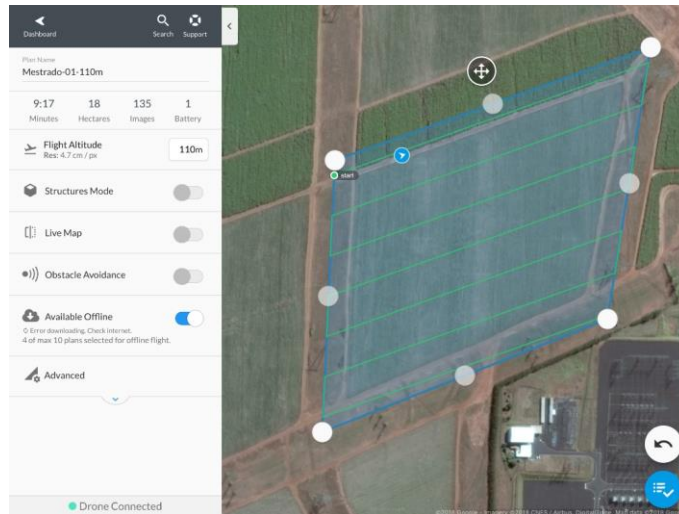
Os planos de voo foram elaborados com base no perímetro do talhão, que é projetado sobre uma imagem de satélite, como ilustrado nas Figuras 6 a 8. O mesmo perímetro foi utilizado para cada um dos três voos deste talhão, porém as alturas que o VANT tomou as fotos foram de 70, 110 e 150 metros para os voos 1, 2 e 3, respectivamente. Tal característica permitiu que o trajeto de cada plano de voo fosse modificado, desse modo a aeronave percorreu cada vez menos linhas de voo, impactando diretamente no tempo e na quantidade de fotos tomadas para cada uma das situações.

Figura 6 - Plano de voo a 70m de altura - do Talhão 01



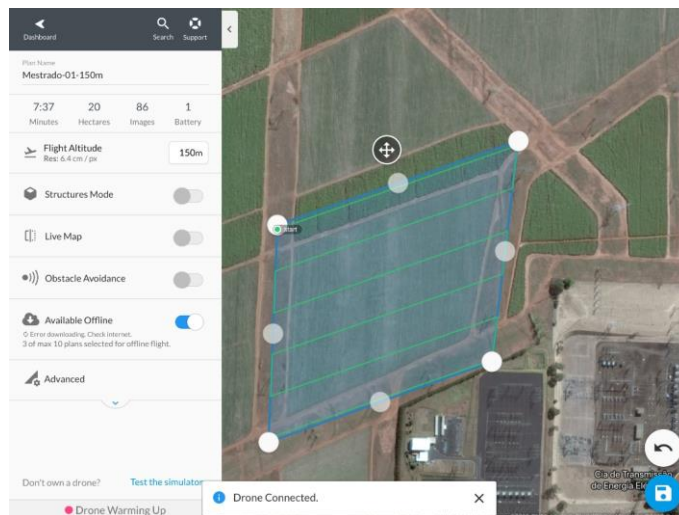
Fonte: O Autor (2018).

Figura 7 - Plano de voo 110m de altura – do Talhão 01



Fonte: O Autor (2018).

Figura 8 - Plano de voo 150m de altura – do Talhão 01



Fonte: O Autor (2018).

De acordo com o relatório gerado pelo sistema do aplicativo Drone Deploy, os voos tiveram duração de 542 a 1024 segundos, em cada um dos voos, foram tomadas fotografias de acordo como planejamento, respeitando as sobreposições laterais de 70% e longitudinais de 80%, obtendo-se assim o material para geração da ortofoto, quantificado de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Tempo de voo em cada altura e total de fotos obtidas no Talhão 01

Voos	Tempo (segundos)	Tempo (s/ha)	Total de fotos	Fotos/ha
Voo 01 – 70 metros	1024,44	82,2	436	35,0
Voo 02 – 110 metros	577,93	46,4	211	16,9
Voo 03 – 150 metros	542,93	43,6	160	12,8

Fonte: O Autor (2018).

4.1.2 Talhão 02

O Talhão 02 foi visitado no dia 15 de junho de 2018, medindo 9,58 hectares, de acordo com o perímetro apresentado pela empresa parceira. O talhão apresentava um desenvolvimento da cana com média de 110cm de altura (Figura 9).

Figura 9 - Cana 110cm de altura média Talhão 02



Fonte: O Autor (2018).

Assim como no Talhão 01, foram executados os três voos com as diferentes alturas – 70, 110 e 150 metros –, de acordo com o apresentado nas Figuras 10, 11 e 12.

Figura 10 - Plano de voo 70m do Talhão 02



Fonte: O Autor (2018).

Figura 11 - Plano de voo 110m do Talhão 02



Fonte: O Autor (2018).

Figura 12 - Plano de voo 150m do Talhão 02

Fonte: O Autor (2018).

De acordo com o relatório gerado pelo sistema do aplicativo Drone Deploy, os voos tiveram a duração de 391 a 935 segundos. Em cada um dos voos, foram tomadas fotografias de acordo com o planejamento, respeitando as sobreposições laterais de 70% e longitudinais de 80%, obtendo-se assim o material para geração da ortofoto, quantificado de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Tempo de voo em cada altura e total de fotos obtidas no Talhão 02

Voos	Tempo (segundos)	Tempo (s/ha)	Total de fotos	Fotos/ha
Voo 01 – 70 metros	935,35	97,6	390	40,7
Voo 02 – 110 metros	508,32	53,1	176	18,4
Voo 03 – 150 metros	391,63	40,9	111	11,6

Fonte: O Autor (2018).

4.1.3 Talhão 03

O Talhão 03 foi visitado no dia 06 de junho de 2018, medindo 16,61 hectares, de acordo com o perímetro apresentado pela empresa parceira. O talhão apresentava um desenvolvimento da cana com média de 90cm de altura (Figura 13).

Figura 13 - Cana 90cm de altura média Talhão 03



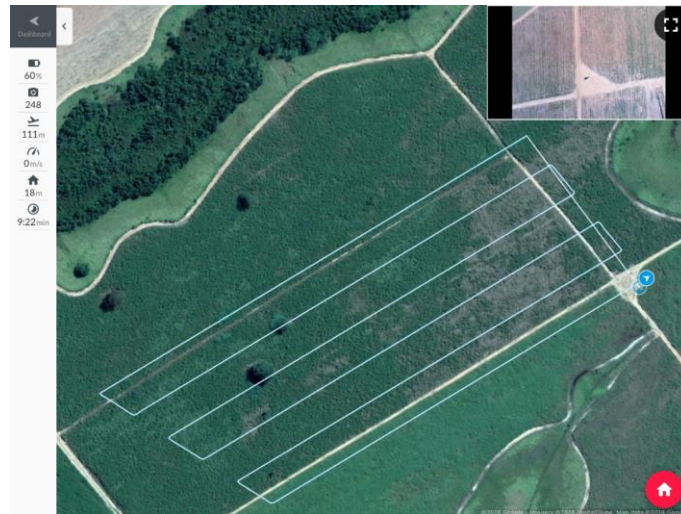
Fonte: O Autor (2018).

Novamente, o mesmo padrão de coleta de dados foi aplicado, executando os três voos com as diferentes alturas – 70, 110 e 150 metros –, conforme demonstrado nas Figuras 14, 15 e 16:

Figura 14 - Plano de voo 70m do Talhão 03



Fonte: O Autor (2018).

Figura 15 - Plano de voo 110m do Talhão 03

Fonte: O Autor (2018).

Figura 16 - Plano de voo 150m do Talhão 03

Fonte: O Autor (2018).

De acordo com o relatório gerado pelo sistema do aplicativo Drone Deploy, os voos tiveram a duração de 539 a 1398 segundos, e no voo de número 01 foi necessário o uso de duas baterias para completar a tomada de fotos sobre toda a área. Em cada um dos voos, foram tomadas fotografias de acordo com o planejamento, respeitando as sobreposições laterais de 70% e longitudinais de 80%, obtendo-se, assim, o material para geração da ortofoto, quantificado de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 - Tempo de voo em cada altura e total de fotos obtidas no Talhão 03

Voos	Tempo (segundos)	Tempo (s/ha)	Total de fotos	Fotos/ha
Voo 01 – 70 metros	1398,06	86,5	559	34,6
Voo 02 – 110 metros	618,54	38,3	248	15,3
Voo 03 – 150 metros	539,54	33,4	141	8,7

Fonte: O Autor (2018).

4.2 Tempo de processamento das imagens

Neste tópico é apresentado o tempo de processamento das imagens, desde o início do projeto até a obtenção do ortomosaico. O tempo de processamento varia de acordo com a capacidade de processamento e configuração de cada computador, por esse motivo, todas as imagens foram obtidas na mesma estação de processamento.

Vale destacar também que todos os processamentos apresentados aqui utilizaram exatamente os mesmos parâmetros no programa de computador PhotoScan.

Para a obtenção do ortomosaico, tem-se o processamento segmentado em seis etapas, *Point Cloud* (Nuvem de Pontos) dividido em duas operações: *Matching* (relacionado à obtenção de pontos correspondentes entre as imagens com sobreposição) e *Alignment* (é o alinhamento entre as imagens, onde os parâmetros de rotação das fotos são obtidos); *Dense Point Cloud* (Nuvem Densa de Pontos), dividido em *Depth Maps* (Mapa de Profundidade) e *Dense Cloud*, propriamente dita; *Model* (Modelo); *Tiled Model* (modelo de superfície); DEM (*Digital Elevation Model*, ou Modelo Digital de Elevação); *Orthomosaic* (ortofotomosaico).

Cada uma dessas operações é descrita em relatório, apresentando o tempo de duração individualmente, resultado esse tabulado a seguir para cada uma das campanhas. O valor considerado é o tempo total para a obtenção da ortofoto em relação à área, ou seja, segundos por hectare.

A compilação dos tempos de processamento das imagens do Talhão 01 e seus respectivos voos a 70, 110 e 150 metros de altura mostra que, quanto maior a altura de voo, conseqüentemente menor a quantidade de fotografias adquiridas, menor o tempo de obtenção da ortofoto. O mesmo se repete para os Talhões 02 e 03. Os valores encontrados estão expressos nas Tabelas 4, 5 e 6.

Tabela 4 - Tempo de processamento das imagens do Talhão 01

Talhão 01	Tempo de processamento (segundos)	Área (hectares)	Tempo por hectare (segundos/Hectare)
Voo 01 – 70 metros	33489	12,6	2657,9
Voo 02 – 110 metros	8676	12,6	688,6
Voo 03 – 150 metros	7344	12,6	582,9

Fonte: O Autor (2018).

O tempo para processamento de cada um dos voos do Talhão 02 é apresentado, a seguir, na Tabela 5.

Tabela 5 - Tempo de processamento das imagens do Talhão 02

Talhão 01	Tempo de processamento (segundos)	Área (hectares)	Tempo por hectare (segundos/Hectare)
Voo 01 – 70 metros	10857	9,58	1133,3
Voo 02 – 110 metros	4689	9,58	489,5
Voo 03 – 150 metros	2804	9,58	292,7

Fonte: O Autor (2018).

E, finalmente, o tempo de processamento para o Talhão 03 pode ser verificado na Tabela 6.

Tabela 6 - Tempo de processamento das imagens do Talhão 03

Talhão 03	Tempo de processamento (segundos)	Área (hectares)	Tempo por hectare (segundos/Hectare)
Voo 01 – 70 metros	23020	16,16	1424,5
Voo 02 – 110 metros	9492	16,16	587,4
Voo 03 – 150 metros	4817	16,16	298,1

Fonte: O Autor (2018).

4.3 Volume de dados gerados

A quantificação do volume de dados gerados durante todo o processo para obtenção de cada ortofoto é analisada sob três aspectos: fotos obtidas pelo drone, dos arquivos gerados pelo processamento e pela ortofoto final. As Tabelas 7, 8 e 9 trazem os dados obtidos neste processo.

Tabela 7 - Volume de dados gerados para o Talhão 01

Talhão 01			
Altura do voo (metros)	Fotografias do voo (gigabytes)	Processamento (gigabytes)	Ortofoto (gigabytes)
Voo 01 – 70 metros	2,13	5,74	0,267
Voo 02 – 110 metros	1,05	2,49	0,124
Voo 03 – 150 metros	0,8	1,67	0,077

Fonte: O Autor (2018).

Tabela 8 - Volume de dados gerados para o Talhão 02

Talhão 02			
Altura do voo (metros)	Fotografias do voo (gigabytes)	Processamento (gigabytes)	Ortofoto (gigabytes)
Voo 01 – 70 metros	1,49	5,72	0,26
Voo 02 – 110 metros	0,868	2,51	0,126
Voo 03 – 150 metros	0,984	1,56	0,0849

Fonte: O Autor (2018).

Tabela 9 - Volume de dados gerados para o Talhão 03

Talhão 03			
Altura do voo (metros)	Fotografias do voo (gigabytes)	Processamento (gigabytes)	Ortofoto (gigabytes)
Voo 01 – 70 metros	2,69	10,2	0,534
Voo 02 – 110 metros	1,24	4,5	0,259
Voo 03 – 150 metros	0,738	2,45	0,153

Fonte: O Autor (2018).

Observa-se, com base nos resultados apresentados, o padrão esperado, ou seja, quanto maior a altura do voo, menor a quantidade de informações geradas na captura das fotos e, conseqüentemente, menor o custo computacional para processamento desses dados.

De acordo com Cunha *et al.* (2016), confirma-se que quanto maior a altura do voo, maior o tamanho do pixel, portanto, é necessária uma quantidade menor de pixels para recobrir a mesma área, e os efeitos práticos disso são apreciados no volume de dados da fotografias do voo e no tamanho do arquivo final das ortofotos.

4.4 Qualidade das imagens

Nesta subseção são apresentadas as ortofotos obtidas no experimento e a análise se dá relacionando o GSD de cada uma delas com a possibilidade de traçar as linhas de plantio.

4.4.1 Talhão 01

O Talhão 01 foi sobrevoado com a cana a 40cm de altura, conforme descrito na seção material e métodos. O voo a 70 metros de altura resultou em uma ortofoto com GSD de 3,20cm/pixel. O voo a 110 metros de altura resultou em um GSD de 4,93cm/pixel e o voo a 150 metros em um GSD de 6,76cm/pixel. De acordo com os planos de voo, eram esperados GSD de 3,5cm/pixel, 4,7cm/pixel e 6,4cm/pixel, respectivamente. Tal diferença entre o plano de voo e o GSD obtido na ortofoto final se deve ao fato de o terreno não ser plano. As ortofotos obtidas são apresentadas na Figura 17.

Figura 17 - Ortofotos do Talhão 01



Fonte: O Autor (2018).

Em cada uma das ortofotos apresentadas destaca-se uma região de 100 metros quadrados (10x10metros), para entendimento dos efeitos de GSD distintos. Na Figura 18 são apresentadas as três resoluções encontradas para o Talhão 01, e entende-se que, para o estágio de desenvolvimento da cana-de-açúcar medindo 40cm, é possível definir as linhas de plantio com GSD de até 4,93cm/pixel. Na imagem de menor resolução, o contraste entre as linhas de cana-de-açúcar já não é evidente, o que pode ocasionar erros na restituição.

Figura 18 - Comparação entre os diferentes GSD - Talhão 01

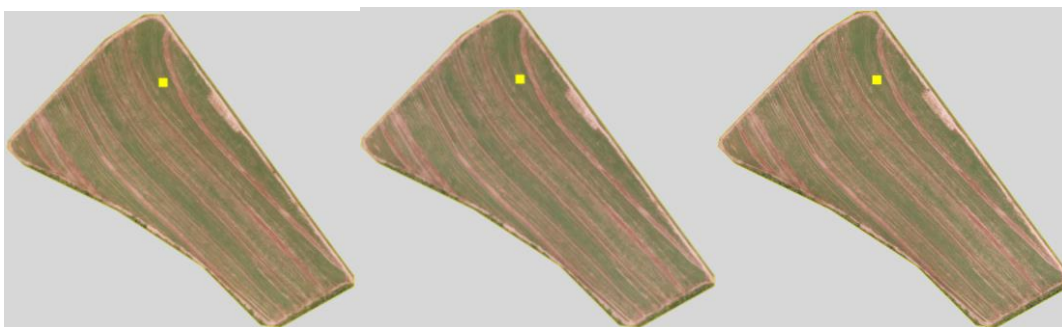


Fonte: O Autor (2018).

4.4.2 Talhão 02

O Talhão 02 foi sobrevoado no período em que a cana havia atingido 110cm de altura. O voo a 70 metros de altura resultou em uma ortofoto com GSD de 3,28cm/pixel. O voo a 110 metros de altura resultou em um GSD de 5,01 cm/pixel e o voo a 150 metros em um GSD de 6,57cm/pixel. A Figura 19 traz as imagens referentes a este processo.

Figura 19 - Ortofotos do Talhão 02



Fonte: O Autor (2018).

Assim como apresentado no Talhão 01, para o Talhão 02 destaca-se uma área de 100 metros quadrados para análise visual. Com a lavoura desenvolvida a 110cm de altura, neste caso com a cana em plantio em linhas duplas, o contraste entre o solo e a cultura ainda pode ser visualizado até 6,57cm/pixel, porém neste estágio de desenvolvimento a folhagem da cana de açúcar está começando a se entrelaçar o que dificulta o traçado das linhas de plantio.

Figura 20 - Comparação entre os diferentes GSD Talhão 02

Fonte: O Autor (2018).

4.4.3 Talhão 03

O Talhão 03, por sua vez, foi sobrevoado no período em que a cana havia atingido 80cm de altura. O voo a 70 metros de altura resultou em uma ortofoto com GSD de 3,13cm/pixel. O voo a 110 metros de altura resultou em um GSD de 4,84 cm/pixel e o voo a 150 metros em um GSD de 6,61cm/pixel. A Figura 21 apresenta as ortofotos obtidas com os voos da campanha de mapeamento do Talhão 03.

Figura 21 - Ortofotos do Talhão 03

Fonte: O Autor (2018).

Na Figura 22, observa-se que na área destacada há contraste suficiente para traçar as linhas de plantio da cultura nos três GSD obtidos, outro ponto que pode ocasionar certa dificuldade no traçado é a presença de sombras da cana no solo. Essa sombra poderia ser evitada com a captura das fotografias aéreas em horário entre 10 e 15 horas.

Figura 22 - Comparação entre os diferentes GSD Talhão 03



Fonte: O Autor (2018).

5 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos neste experimento conclui-se que:

Quanto maior a altura de voo, menor o volume de dados gerados por hectare; e, conseqüentemente, menor o tempo de processamento e custo computacional.

Grandes alturas de voo geram imagens com menor resolução, o que impossibilita a identificação das linhas de plantio da cana-de-açúcar, como ocorrido no Talhão 01 com o voo de 150 metros de altura.

As situações que se mostraram mais eficientes foram com a cana-de-açúcar medindo entre 80 e 110 centímetros de desenvolvimento, e ambas com o voo a 150 metros de altura.

Nos estágios iniciais de desenvolvimento da cana-de-açúcar, medindo 40 centímetros do solo ao topo, recomenda-se um voo com GSD de no máximo 5cm/pixel para evitar problemas de contraste nas ortofotos e possíveis erros de restituição das linhas de plantio.

Recomenda-se a continuidade deste experimento variando-se ainda mais os estágios de desenvolvimento da cana-de-açúcar, a fim de determinar qual o tamanho máximo da cultura que permite a identificação das linhas de plantio.

REFERÊNCIAS

ABIB, O. A. **Aerofotogrametria**. Presidente Prudente: Instituto de Planejamento e Estudos Ambientais, UNESP, 1983.

ALVES JÚNIOR, L. R. *et al.* Validação de ortomosaicos e modelos digitais de terreno utilizando fotografias obtidas com câmera digital não métrica acoplada a um VANT. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, v. 67, n. 7, p. 1453-1466, 2015. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/49198/26228>. Acesso em: 20 maio 2019.

ANDRADE, J. B. de. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 1998.

BAIO, F.; MORATELLI, R. F. Avaliação da acurácia no direcionamento com piloto automático e contraste da capacidade de campo operacional no plantio mecanizado da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 367-375, 2011.

BRAUNBECK, O. A.; OLIVEIRA, J. T. A. Colheita de cana-de-açúcar com auxílio mecânico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 300-308, 2006.

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

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**: Safra 2019/20 - Primeiro levantamento. Brasília, DF, maio 2019. v. 6. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>. Acesso em: 20 maio 2019.

CUNHA, A. A. da *et al.* Controle de qualidade posicional de ortofoto gerada pelo RPA (Remotely Piloted Aircraft) Phantom 3 com receptor GNSS embarcado. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO MULTIFINALITÁRIO, COBRAC, 2016, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: UFSC, 2016. Disponível em: <http://ocs.cobrac.ufsc.br/index.php/cobrac/cobrac2016/paper/viewFile/221/3>. Acesso em: 15 maio 2019.

CUNHA, R. M. P.; BULLA, L. A. S.; HARTMANN, C. Uso de imagens de pequeno formato como instrumental na elaboração e implantação de projetos costeiros: O Sistema ADAR 1000. **Gravel**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 47-56, 2009.

DISPERATI, A. A. **Fotografias Aéreas Inclínadas**. Curitiba: Ed. da UFPR, 1995.

DISPERATI, A. A.; AMARAL, R. F.; SCHULER, C. A. B. **Fotografias aéreas de pequeno formato** - Aplicações ambientais. Guarapuava: Ed. UNICENTRO, 2007.

ESTEIO ENGENHARIA E AEROLEVANTAMENTOS. **Qual a escala de um voo digital?** 2008. Disponível em: <https://www.esteio.com.br/downloads/2008/EscalaDigital.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2019

FRYER, J. Camera calibration. *In*: ATKINSON, K. B. **Close range photogrammetry and machine vision**. Caithness, Scotland: Whittles Publishing, 1996. p. 156-180.

HASEGAWA, J. K. **Restituição Fotogramétrica (Analítica e Digital)**: Teoria das Orientações – Introdução. Presidente Prudente, 2004. Digitado.

INAMASU, R. Y. *et al.* Agricultura de Precisão para a sustentabilidade de sistemas produtivos do agronegócio brasileiro. *In*: INAMASU, R. Y. *et al.* (ed.). **Agricultura de precisão**: um novo olhar. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 14-26.

IRSCHARA, A. *et al.* Towards fully automatic photogrammetric reconstruction using digital images taken from uavs. *In*: WAGNER W.; SZÉKELY, B. (eds.). **ISPRS TC VII Symposium: 100 Years ISPRS**. Vienna, Austria: IAPRS, 2010. v. XXXVIII, Part 7A. Disponível em: https://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/part7/a/pdf/65_XXXVIII-part7A.pdf. Acesso em: 18 jun. 2019.

LIMA, O. P.; LOCH, C. O uso de Câmaras Fotográficas de Pequeno Porte nos Levantamentos Cartográficos Destinados ao Cadastro Técnico Multifinalitário. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO MULTIFINALITÁRIO, COBRAC, 1998, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: UFSC, 1998.

MENESES, L. F. de. **Ortorretificação de Fotografias Aéreas de Pequeno Formato Obtidas com Câmara Digital Convencional**. 2007. 76 f. Monografia (Tecnólogo em Geoprocessamento) – Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba, João Pessoa, 2007.

MOLIN, J. P.; CARREIRA, P. T. Metodologia para ensaios cinemáticos de receptores de GNSS utilizando um GPS RTK como referência. **Revista Brasileira de Agroinformática**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 53-62, 2006.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS**: descrição, fundamentos e aplicações. 2. ed. São Paulo: UNESP, 2007.

NUNES JUNIOR, D.; PINTO, R. S. A.; KIL, R. A. **Indicadores de desempenho da agroindústria canavieira**: safra 2003/2004. Ribeirão Preto: IDEA, 2005.

OLIVEIRA, C. de. **Dicionário Cartográfico**. 4. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

PÉREZ, M.; AGÜERA, F.; CARVAJAL, F. Digital camera calibration using images taken from an unmanned aerial vehicle. *In*: INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES, 2011, Zurich, Switzerland. **Workshop [...]**. Zurich, Switzerland, 2011. v. XXXVIII - 1/C22 UAV-g, p. 167-171. Disponível em: <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXVIII-1-C22/167/2011/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-167-2011.pdf>. Acesso em: 22 maio 2019.

- QUARITSCH, M. *et al.* Collaborative microdrones: Applications and Research Challenges. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTONOMIC COMPUTING AND COMMUNICATION SYSTEMS, AUTONOMICS*, 2^{nd.}, 2008, Turin, Italy. **Proceedings [...]**. Turin, Italy, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/220987129_Collaborative_microdrones_Applications_and_research_challenges. Acesso em: 25 maio 2019.
- RIBEIRO, J. C. **Fotogrametria Digital**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. Disponível em: <http://www.ufv.br/nugeo/ufvgeo2002/resumos/jcribeiro.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2018.
- RIPOLI, T. C. C. Ensaio & certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar. *In: MIALHE, L. G. Máquinas agrícolas: ensaios & certificação*. Piracicaba: Fundação de Estudo “Luiz de Queiroz”, 1996. cap.13, p. 635-673.
- RUY, R. da S. **Desenvolvimento e validação geométrica de um sistema para mapeamento com câmeras digitais de médio formato**. 2008. 246 f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2008.
- SALVI, J. V.; MATOS, M. A.; MILAN, M. Avaliação do desempenho de dispositivo de corte de base de colhedora de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Piracicaba, v. 27, n. 1, p. 201-209, 2007.
- SILVA NETO, M. Variação de GSD: como funciona?. **Droneng, Drones e Engenharia**, 6 fev. 2017. Disponível em: <http://blog.droneng.com.br/variacao-de-gsd/>. Acesso em: 15 maio 2019.
- WOLF, P. R. **Elements of photogrammetry**. New York: Mc Graw-Hill, 1995.