

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**IMPACTO DA SOBREPOSIÇÃO
AEROFOTOGRAMÉTRICA NA GERAÇÃO DE
ORTOMOSAICOS**

Juliane Patrony Campos

Jaboticabal - SP

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**IMPACTO DA SOBREPOSIÇÃO AEROFOTOGRAMÉTRICA NA
GERAÇÃO DE ORTOMOSAICOS**

Juliane Patrony Campos

Orientador: Prof. Dr. David Luciano Rosalen

Coorientador: Dr. Alberto C. de Campos Bernardi

Trabalho de Conclusão de Curso (Iniciação Científica)
apresentado à Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como
parte das exigências para graduação em Zootecnia.

Jaboticabal - SP
1º Semestre/2023



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CÂMPUS DE JABOTICABAL



DEPARTAMENTO: Departamento de Engenharia Rural

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Impacto da sobreposição aerofotogramétrica na geração de ortomosaicos

ACADÊMICO: Juliane Patrony Campos

CURSO: Zootecnia

ORIENTADOR (ES): Prof. Dr. David Luciano Rosalen

COORIENTADOR (ES): Dr. Alberto C. de Campos Bernardi

Aprovado e corrigido de acordo com as sugestões da Banca Examinadora

BANCA EXAMINADORA:

(Assinaturas)

Presidente Prof. Dr. David Luciano Rosalen

Membro Eng.^a Agr.^a Bruna da Rocha

Membro Eng. Agr. Gustavo Fedrizzi da Silva

Jaboticabal 01 / 02 / 2023

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em: 14 / 02 / 2023

Chefe do Departamento
Prof. Dr. Danísio Prado Munari
Chefe do Depto. de Engenharia
e Ciências Exatas

Aprovado Ad Referendum do
Conselho do Departamento

C198i Campos, Juliane Patrony
Impacto da sobreposição aerofotogramétrica na geração de ortomosaicos / Juliane Patrony Campos. -- Jaboticabal, 2023
23 p. : il., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Zootecnia) -
Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: David Luciano Rosalen
Coorientador: Alberto Carlos de Campos Bernardi

1. Tempo. 2. Planejamento. 3. Fotografia aérea em geologia. I.

Título

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus familiares, principalmente meus pais, Viviane Martins Bonilha Patrony Campos e Ricardo Crivelenti Patrony Campos que estiveram ao meu lado durante toda minha trajetória.

Agradeço à minha família de coração e consideração República As Bardosa, aos meus amigos e amigas por todo incentivo e apoio.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. David Luciano Rosalen e ao meu coorientador Dr. Alberto C. de Campos Bernardi pela oportunidade de realizar e escrever o trabalho.

Por fim, mas não menos importante, agradeço à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias por me permitir viver os melhores anos de Graduação e poder realizar meu sonho de ser Zootecnista.

Impacto da sobreposição aerofotogramétrica na geração de ortomosaicos

Juliane Patrony Campos¹; David Luciano Rosalen² Alberto C. de Campos Bernardi³

Resumo: A importância do ortomosaico na topografia atualmente é mapear, identificar e realizar levantamentos cadastrais. Usa-se Aeronaves Remotamente Pilotadas (*Remotely Piloted Aircraft System* - RPA) para obtê-lo. A utilizada foi Matrice 210 equipada com sensor AGX 710. Voos com 120 metros de altura e sobreposições de 50% e 70%. Usou-se *software* PIX4D Full. Trabalhou-se com imagens georreferenciadas, posições dos pontos de ligação, médias e desvios-padrão de translações e rotações, sobreposições, ajuste em bloco, *key-points*, erro entre imagens e tempo de processamento. Em termos de georreferenciamento dos ortomosaicos, para planimetria os resultados foram semelhantes para ambos os tratamentos sendo que para a altimetria o Tratamento de 70% apresentou melhores resultados em termos absolutos. Em termos de tempo de processamento o Tratamento de 50% consumiu metade do tempo necessário comparado ao Tratamento de 70%, portanto caso a altimetria não seja um fator de maior relevância na cobertura aerofotogramétrica, o Tratamento de 50%, de acordo com o estudo, possibilita maior rapidez tanto na coleta das imagens, como no respectivo processamento.

Palavras-Chave: Fotogrametria Aérea; Levantamentos Topográficos; Drone.

Impact of aerophotogrammetric overlap on orthomosaic generation

Abstract: Nowadays, the importance of orthomosaic in topography is to map, identify and perform registration surveys. It is obtained by Remotely Piloted Aircraft System (RPA). The one used was Matrice 210 equipped with AGX 710 sensor. Flights of 120 meters high and overlaps of 50% and 70%. It used FULL PIX4D software. We worked with georeferenced images, positions of the connection points, means and standard deviations of translations and rotations, overlaps, block adjustment, key-points, error between images and processing time. In terms of orthomosaic georeferencing, for planimetry the results were similar for both treatments and for altimetry the Treatment of 70% presented better results in absolute terms. In terms of processing time, the Treatment of 50% consumed half the necessary time compared to the Treatment of 70%, so if altimetry is not a factor of greater relevance in aerophotogrammetric coverage, the Treatment of 50%, according to the study, allows faster data collection, as well as in its processing.

Keywords: Aerial photogrammetry; Topographic surveys; Drone.

Impacto de la superposición aerofotogramétrica en la generación de ortomosaicos

Resumen: La importancia del orthomosaico en la topografía actual es cartografiar, identificar y llevar a cabo encuestas de registro. Para los obtentorlos, se utiliza aeronave pilotada remotamente (rpa). En este estudio, utilizamos el matrice 210 equipado con el sensor agx 710. Se realizaron vuelos con 120 meters high y solapamientos del 50% y 70%. Utilizaba el software full pix4d. Trabajamos con imágenes georeferenciadas, posiciones de puntos de conexión, medias y desviaciones estándar de traslaciones y rotaciones, solapamientos, ajuste de bloques, puntos clave, error entre imágenes y tiempo de procesamiento. En cuanto a la georreferenciación ortomosaica, para la planimetría los resultados fueron similares para ambos tratamientos y para

¹ Graduanda em Zootecnia da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal.

² Prof. Dr. David Luciano Rosalen, Engenheiro Agrônomo, Professor Titular do Departamento de Ciências Exatas da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal.

³ Prof. Dr. Alberto Carlos de Campos Bernardi, Engenheiro Agrônomo, Pesquisador da EMBRAPA Pecuária Sudeste.

la altimetría el tratamiento del 70% presentó mejores resultados en términos absolutos. En términos de tiempo de procesamiento, el tratamiento del 50% consumió la mitad del tiempo necesario en comparación con el tratamiento del 70%, por lo que si la altimetría no es un factor de mayor relevancia en la cobertura aerofotogramétrica, el tratamiento del 50%, según el estudio, permite una mayor velocidad tanto en la recolección de imágenes como en el procesamiento respectivo.

Palabras clave: Fotogrametría aérea; Levantamientos topográficos; Zumbido.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de conhecer, mapear e identificar os espaços que o rodeiam fez com que os homens aderissem às práticas de mapeamento terrestre, aplicadas para reconhecimento do relevo ou para demarcar propriedades no intuito de realizar levantamentos cadastrais (SILVA, 2019).

Segundo PEGORARO et. al. (2013), a aerofotogrametria é um aglomerado de procedimentos executados com a intenção de se captar uma representação de porção da superfície terrestre desde fotografias aéreas (ou aerofotografias) mediante o auxílio de uma câmera fotográfica estabilizada de maneira vertical em relação ao solo. Vale dizer que, as aerofotografias são feitas pelos veículos aéreos, podendo destacar aviões, helicópteros e Aeronave Remotamente Pilotada (*Remotely Piloted Aircraft – RPA*).

As RPAs, de pequeno porte, podem ser utilizadas para caracterizar componentes geográficos sinuosos, por exemplo, zonas costeiras, áreas de difícil acesso e córregos como mostrado nos trabalhos de Turner et al. (2016), Rosalen et al. (2015a) e Guillot; Pouguet (2015).

No processo de geração de produtos aerofotogramétricos, as imagens coletadas passam por três orientações, a interna, a relativa e a absoluta. Também, primeiramente, é gerada a nuvem de pontos, o modelo tridimensional de superfície (Modelo Digital de Superfície – MDS) e o ortomosaico; por fim, um mapa da área levantada pode ser restituído. A orientação interna é o feixe perspectivo central de cada imagem, havendo a necessidade de parâmetros de calibração da câmera. No entanto a orientação relativa estabelece posição relativa entre as imagens, é realizado quando cada par de imagem tem pelo menos 60% de sobreposição longitudinal, com ocorrência de pontos homólogos. A orientação absoluta transforma o modelo tridimensional do terreno homotético direto à superfície mapeada e são necessários pontos de controle no terreno e foto identificáveis nas imagens (ROSALEN, 1997; ROSALEN, 2015b).

Destaca-se que os produtos aerofotogramétricos são muito importantes na implementação de Sistemas de Informações Geográficas - SIG. Conforme João (1998), o SIG consiste em “sistemas computacionais utilizados para armazenar, atualizar, analisar e apresentar dados espaciais”. Também, é importante destacar que uma operação fundamental em SIGs é a sobreposição de mapas (*map overlay*), sendo esta operação fundamental para a espacialização de dados. Por exemplo, na avaliação de impactos utiliza-se dados de linha de base (*baseline*), que retratam a situação passada e atual de

uma área, para poder cruzá-los com dados especializados relacionados a possíveis impactos futuros, como poluição, nível de riscos, entre outros (UTSUNOMIYA, 2014).

Existem diferentes trabalhos que avaliam números de pontos de controle e a distribuição em campo, assim como sensores e diferentes altitudes de voo (CALOU et al., 2021).

Segundo João (1998), os dois métodos principais para avaliar impactos pelo SIG, são: análise espacial e modelação; que auxiliam em uma melhor avaliação e previsão de impactos, além de armazenar, organizar e atualizar as informações espaciais digitais. Gera-se, assim, um banco de dados periódico atualizado para a análise espacial e para o monitoramento constante (*follow-up*) de impactos futuros. Porém, deve ocorrer a integração de diferentes tipos de informação espacial, que, geralmente, não são relacionadas. Por exemplo, a integração de dados de diferentes estudos de impacto ambiental.

Nos dias atuais, o levantamento topográfico convencional e o levantamento realizado por RPAs são utilizados na agricultura. O uso e a aplicabilidade da fotogrametria aumentaram e, conseqüentemente, facilitaram o manuseio e a agilidade na coleta de dados de campo, entre outras vantagens (TOMMASELLI, 2009).

As RPAs oferecem produtos de alta resolução espacial e têm diversos potenciais de aplicação, como monitoramento, caracterização e mapeamento, avaliação de impactos, detecção de contaminações em solos, etc. Essa tecnologia vem alterando a maneira de se realizar pesquisas os serviços técnicos na agricultura e no meio ambiente (LONGHITANO, 2010).

O ortomosaico pode ser obtido a partir de aerolevantamentos com RPAs, assim como o MDS (TORRADO; JIMÉNEZ; DÍAZ, 2016). Destaca-se que o MDS permite relacionar a altitude da superfície modelada em cada pixel da imagem deste (SOPCHAKI et al., 2017).

O ortomosaico e o MDS auxiliam na captação de medidas planimétricas e altimétricas que contribuem nas análises geoespaciais, tendo como função a delimitação de áreas de risco (SOLOMON et al., 2002), delimitação e de áreas de inundação (POPESCU; ICHIM.; CARAMIHALE, 2015; BUFFON; PAZ; SAMPAIO, 2017).

Há dois tipos de erros que podem estar presentes no ortomosaico (SILVA et al., 2015), o deslocamento em relação à posição esperada no espaço e os deslocamentos internos na imagem, que afetarão as métricas diretamente alcançadas a partir desses produtos. O Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC dos produtos cartográficos digitais tem como objetivo avaliar a qualidade planimétrica dos ortomosaicos gerados. Destaca-

se que para voos sem correção, as imagens coletadas com uso de RPAs adotam o posicionamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*) Posicionamento por Ponto Simples – PPS, com erros de georreferenciamento na ordem de metros.

Dentro do contexto apresentado, o objetivo deste trabalho foi avaliar dois diferentes níveis de sobreposição aerofotogramétrica na geração de ortomosaicos, utilizando-se de diferentes métricas estatísticas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido, em uma área de pastagem, na Embrapa Pecuária Sudeste, município de São Carlos, Estado de São Paulo. A área localiza-se em torno da Latitude de 21°58'08"S e da Longitude de 47°51'30"W, com Altitude média de 891 m com área de 95.9865 há na sobreposição de 50% e 105.7335 há na sobreposição de 70%.

A RPA utilizada foi a Matrice 210 (DJI, China) equipada com o sensor multiespectral AGX 710 (Sentera, EUA). Destaca-se que esse sensor registra as bandas espectrais do Vermelho de borda (*Red edge*), do Infravermelho próximo (*Near-infrared* – NIR) e do visível RGB (*Red, Green, Blue*).

Para realizar a coleta das imagens aéreas utilizou-se a RPA Matrice 210 (DJI, China) (Figura 1).

Figura 1 – Modelo de Aeronave Remotamente Pilotada utilizada (Matrice 210 da DJI, China).



Fonte: os autores.

Realizou-se voos a uma altitude de 120 m e sobreposições longitudinais e laterais de 50% e 70%. Para geração dos ortomosaicos, foi utilizado o *software* Pix4D Full (AgEagle, EUA), assim como para a obtenção das métricas estatísticas. O *hardware* utilizado foi Intel(R) Xeon(R) W-2155, CPU 3.30GHz e RAM de 64GB; sistema operacional Windows 10 Pro.

Adotou-se como o sistema de referência geodésico o WGS84 (*World Geodetic System*), o modelo Geoidal EGM96 (*Earth Gravitational Model*) e o sistema de projeção UTM (*Universal Transversa de Mercator*), Fuso 23, Hemisfério Sul.

Destaca-se que o *software* Pix4D permite o cálculo da posição e orientação das imagens originais de forma automática, através da Triangulação Aérea ou Triangulação Espacial, ajustando os feixes em blocos (*Bundle Block Adjustment* - BBA). Dessa forma, um conjunto de pontos tridimensional (3D) obtidos na Triangulação Aérea e no BBA, permite a geração de um MDS. Ressalta-se que o ortomosaico é criado, inicialmente, pela projeção e combinação das imagens originais com o MDS (VISENTINI, 2018).

As análises realizadas e os parâmetros estatísticos obtidos no processamento dos dados foram: calibração de imagens, sobreposição, números de pareamento, números de pontos 3D de correspondências de *key-points* 2D, incerteza absoluta e relativa do georreferenciamento, quantidades de imagens utilizadas para o recobrimento da área, otimização interna dos parâmetros da câmera, *overlapping* e tempo de processamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

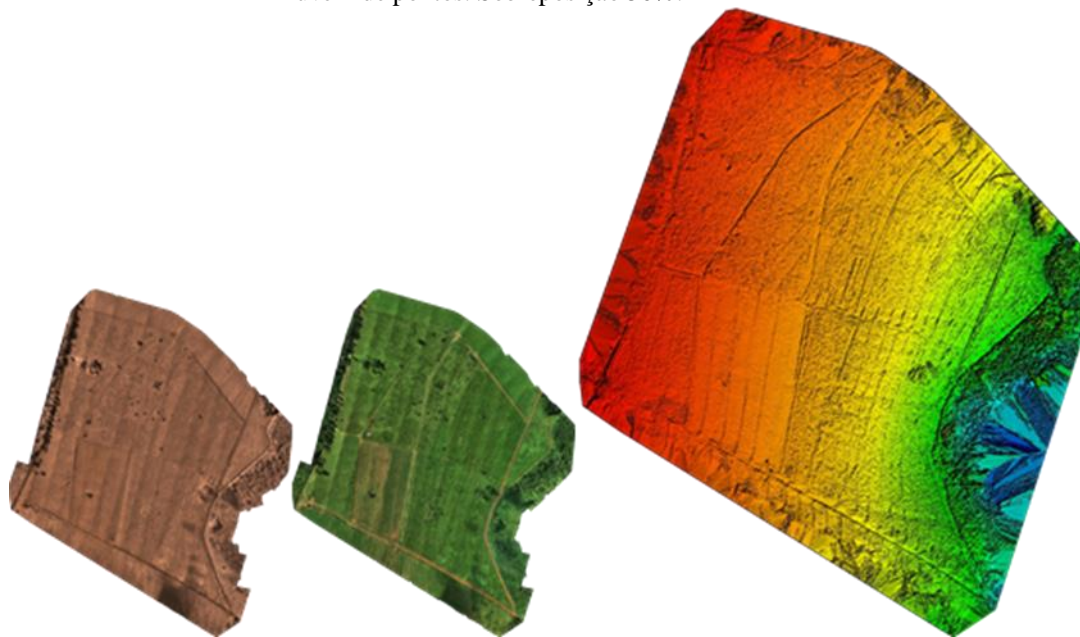
3.1 Avaliação preliminar

Para o Tratamento de 50% utilizou-se 526 imagens e obteve-se uma otimização de 9,4%. É importante destacar que os parâmetros de distância focal/transformação afim são uma propriedade do sensor e óptica da câmera, podendo sofrer pequenas variações em função da temperatura, choques, altitude de voo e tempo de exposição.

O processo de calibração começa à partir de um modelo de câmera inicial e otimiza os parâmetros. É normal que os parâmetros de distância focal/transformação afim sejam ligeiramente diferentes para cada projeto. Um modelo de câmera inicial deve estar, no mínimo, em torno de 5% de otimização, garantindo, assim, maior robustez dos dados.

Na Figura 2 é apresentado o modelo de superfície na sobreposição 50%. É possível visualizar, nesta figura, a região que se encontra na coloração vermelha teve uma densificação menor e na região verde uma densificação maior.

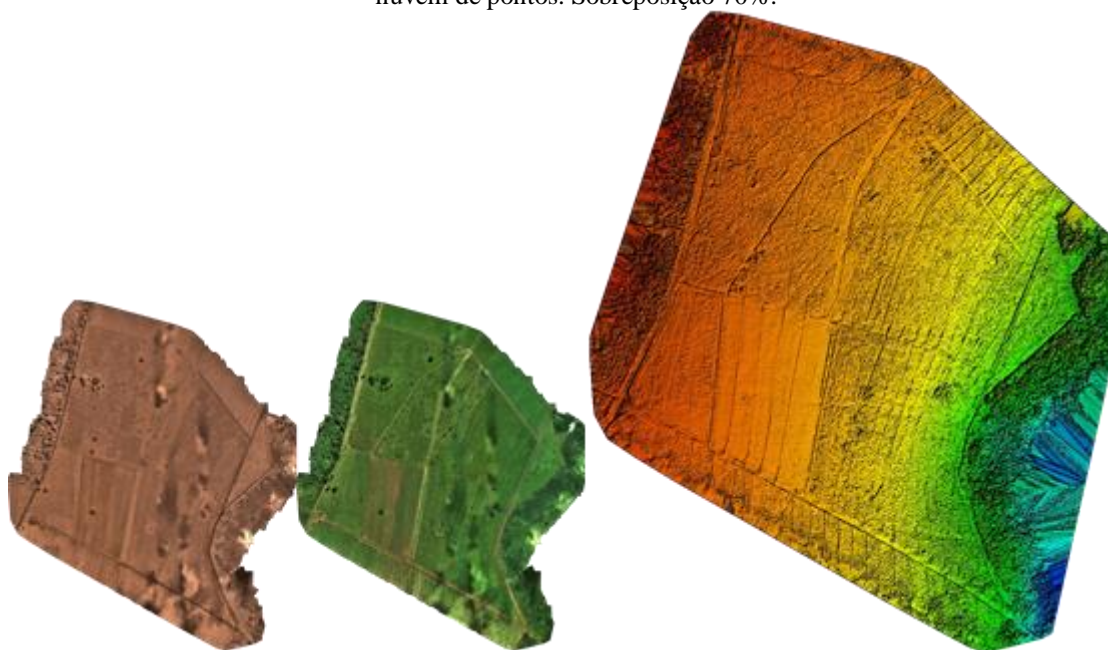
Figura 2 - Ortomosaico e o Modelo Digital de Superfície – MDS antes da densificação da nuvem de pontos. Sobreposição 50%.



Fonte: os autores.

Já para o Tratamento de 70% (Figura 3) utilizou-se 1.702 imagens com otimização de 10,6%. Nota-se, na Figura 3, uma região vermelha menor (pior sobreposição) e uma região verde maior (melhor sobreposição) em relação à sobreposição de 50%. Também, na Sobreposição de 70%, o número de imagens para o recobrimento da área foi maior (aproximadamente três vezes maior do que a Sobreposição de 50%) e uma otimização 12,8% melhor.

Figura 3 - Ortomosaico e o Modelo Digital de Superfície – MDS antes da densificação da nuvem de pontos. Sobreposição 70%.



Fonte: o autores

3.2 Imagens georreferenciadas e utilizadas nos aerolevantamentos

A Tabela 1 exibe a quantidade de imagens georreferenciadas e calibradas utilizadas nos respectivos tratamentos, antes do ajustamento final.

Tabela 1 - Imagens georreferenciadas e calibradas utilizada nos respectivos tratamentos.

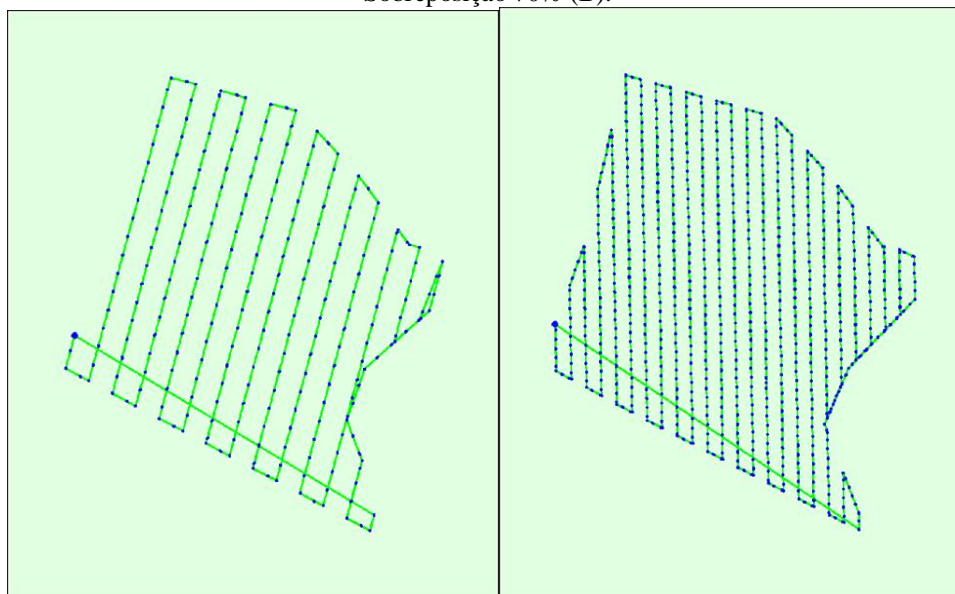
Número de imagens	Sobreposição 50%	Sobreposição 70%
Calibradas	526 de 526	1702 de 1702
Georreferenciadas	526 de 526	1702 de 1702

Fonte: os autores

Nota-se, na Tabela 1, que para ambos os tratamentos todas imagens obtidas no voo foram calibradas e georreferenciadas, portanto, não ocorreu diferença entre os tratamentos neste quesito. Somente, conforme já apresentado, que a Sobreposição de 70% utilizou um número maior de imagens para o recobrimento da área, fato esperado visto que sua sobreposição é 40% maior.

A Figura 4 ilustra os pontos de tomada das fotografias durante os respectivos voos para a Sobreposição de 50% e para a Sobreposição de 70%.

Figura 4 - Visão superior das tomadas de fotografia dos levantamentos aéreos. Sobreposição 50% (A) e Sobreposição 70% (B).



Fonte: os autores.

(A)

(B)

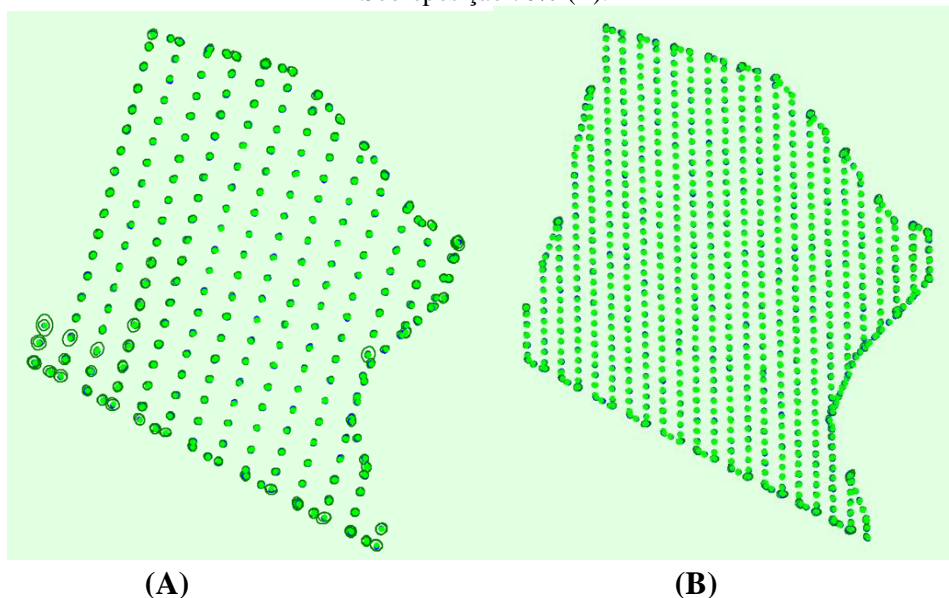
3.3 Posições das imagens computadas e posições dos pontos de ligação

Na Figura 5 é exibida a forma de elipse de erro que é a diferença entre as posições da imagens inicial e computada, a diferença entre as as posições dos MTPs (*Manual Tie*

Points) e as elipses de incerteza das posições absolutas da câmera. Ela sendo verde mais escura indica a incerteza absoluta da posição do resultado.

O tamanho absoluto das elipses de incerteza não indica seu valor absoluto pelo fato de terem sido ampliadas por um fator constante observado na legenda da figura.

Figura 5 – As elipses indicando a incerteza absoluta da posição do resultado na Sobreposição 50% (A) e Sobreposição 70% (B).



Fonte: os autores.

3.4 Média e Desvio-padrão das translações e rotações absolutas das câmeras

Na Tabela 2, verifica-se o resultado da média da posição absoluta da câmera, nos respectivos movimentos de translação e rotação da orientação do modelo. Os valores de X, Y e Z correspondem aos movimentos de translação, os valores de Omega, Phi e Kappa correspondem aos movimentos de rotação. Na Sobreposição de 50% os erros foram maiores do que a Sobreposição de 70%, assim como os respectivos desvios-padrão da Sobreposição de 70% foram melhores do que os obtidos na Sobreposição de 50%.

Tabela 2 – Média dos erros de rotação e translação e respectivo desvios-padrão.

	Sobreposição 50%		Sobreposição 70%	
	Média	Desvio-padrão	Média	Desvio padrão
X	0,08	0,02	0,04	0,01
Y	0,09	0,02	0,05	0,01
Z	0,08	0,01	0,03	0,00
Omega	0,03	0,01	0,02	0,00
Phi	0,03	0,01	0,01	0,00
Kappa	0,01	0,00	0,00	0,00

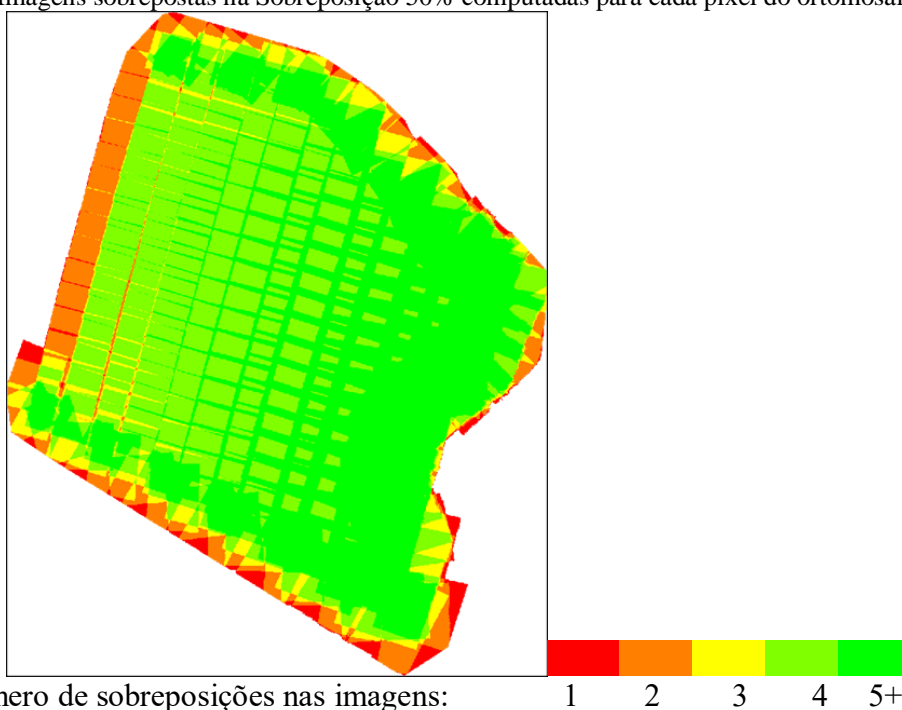
Fonte: os autores.

3.5 Sobreposições após o processamento final dos dados

As áreas vermelhas e amarelas, como visível na Figura 6 e 7, indicam baixa sobreposição para a qual podem ser gerados resultados não adequados. Destaca-se que neste item, as sobreposições apresentadas são as finais obtidas após o refinamento da nuvem de pontos. As áreas verdes indicam uma sobreposição de mais de cinco imagens para cada pixel.

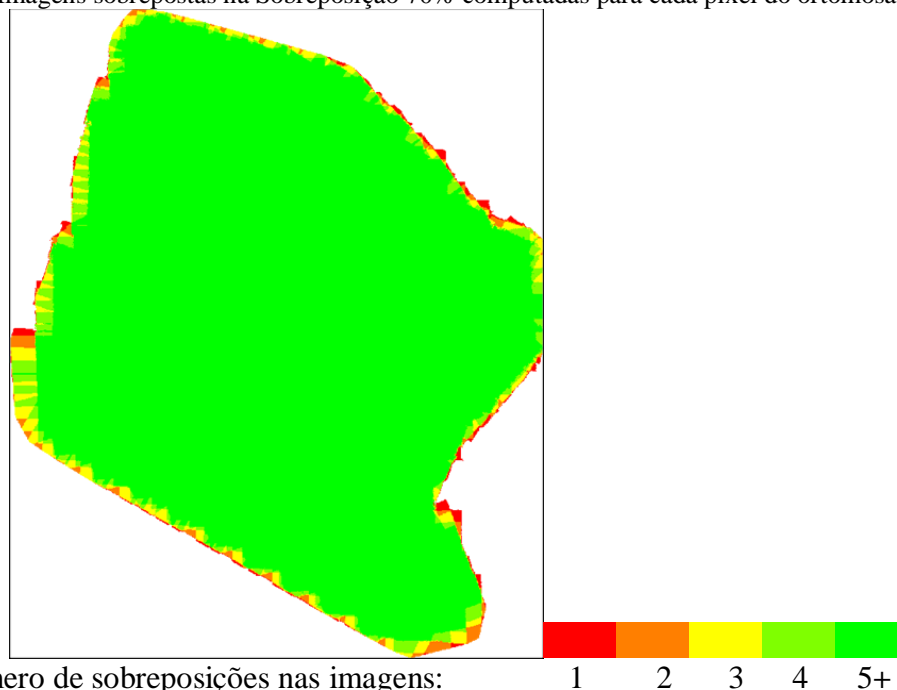
A Sobreposição de 50% apresenta áreas com uma ou duas imagens sobrepostas, muitas com quatro imagens e algumas com cinco imagens sobrepostas. Isso explica o mapeamento dessa área com diversas cores. A Sobreposição de 70% mostra o oposto, com muitas áreas com cinco ou mais sobreposições de imagens.

Figura 6 - Imagens sobrepostas na Sobreposição 50% computadas para cada pixel do ortomosaico.



Fonte: os autores.

Figura 7 - Imagens sobrepostas na Sobreposição 70% computadas para cada pixel do ortomosaico.



Fonte: os autores.

3.6 Ajustamento em bloco das imagens e respectivos números de *key-points* 2D e de pontos 3D obtidos

Os resultados do ajustamento em bloco das imagens, indicou um número de observações de *key-points* 2D, no Tratamento de 50%, de 15.166.476 e na Sobreposição de 70% de 56.017.138. Para o número de pontos 3D obtidos a partir dos *key-points*, obteve-se, respectivamente, 49.43.500 e 13.542.712, Sobreposições de 50% e 70%. O erro médio de reprojeção em pixels foi 0,33 para a Sobreposição de 50% e de 0,34 para a Sobreposição de 70% (portanto, sem diferença).

A Tabela 3 ilustra esses resultados. Como esperado, em uma sobreposição maior, aumenta-se o número de *key-points* e, conseqüentemente, de pontos 3D.

Tabela 3 – Número de *key-points* 2D e pontos 3D obtidos após o ajustamento em blocos.

Número de pontos	50%	70%
<i>Key-points</i> 2D	15.166.476	56.017.138
Pontos 3D	4.943.500	13.542.712
Erro médio de reprojeção (pixels)	0,33	0,34

Fonte: os autores.

As tabelas 4 e 5, exibem a mediana e a média geral e para as respectivas bandas espectrais (*Red edge/NIR* e RGB). Também, calculou-se “Índice de pareamento”, dividindo a média do número de *key-points* pela média de números pareados.

As tabelas ilustram que os números de pareamento do Sobreposição de 50% (Tabela 5) foram menores em relação à Sobreposição de 70% (Tabela 6). Consequentemente o Índice de pareamento foi melhor. Esses resultados podem ser explicados pela melhor sobreposição alcançada na Sobreposição de 70%.

Tabela 4 – Número e Índice de pareamento obtidos (Sobreposição de 50%).

Geral	Número de <i>key-points</i> 2D por imagem	Números pareados
Mediana	70.446	29.600
Média	69.255	28.834
Índice de pareamento	-	0,42
<i>Red edge/NIR</i>		
Mediana	65.738	29.726
Média	65.488	29.845
Índice de pareamento	-	0,46
RGB		
Mediana	73.419	29.675
Média	73.023	27.822
Índice de pareamento	-	0,38

Fonte: os autores.

Tabela 5 – Número e Índice de pareamento obtidos (Sobreposição 70%).

	Número de <i>key-points</i> 2D por imagem	Números pareados
Mediana	61.547	33.688
Média	60.772	32.913
Índice de pareamento	-	0,54
Red edge/NIR		
Mediana	57.708	31.103
Média	57.384	31.281
Índice de pareamento	-	0,55
RGB		
Mediana	65.291	36.172
Média	64.160	34.544
Índice de pareamento	-	0,54

Fonte: os autores.

Por fim, a Tabela 6 a quantidade de pontos 3D obtidos nos respectivos números de imagens (sobreposição de 50 e 70%). Nota-se, nesta tabela, que, pelo menos um ponto de controle em 26 imagens para a Sobreposição de 50% e em 58 imagens para a Sobreposição de 70%. Dessa forma, a sobreposição de 70% quase dobrou o número de imagens com pontos 3D.

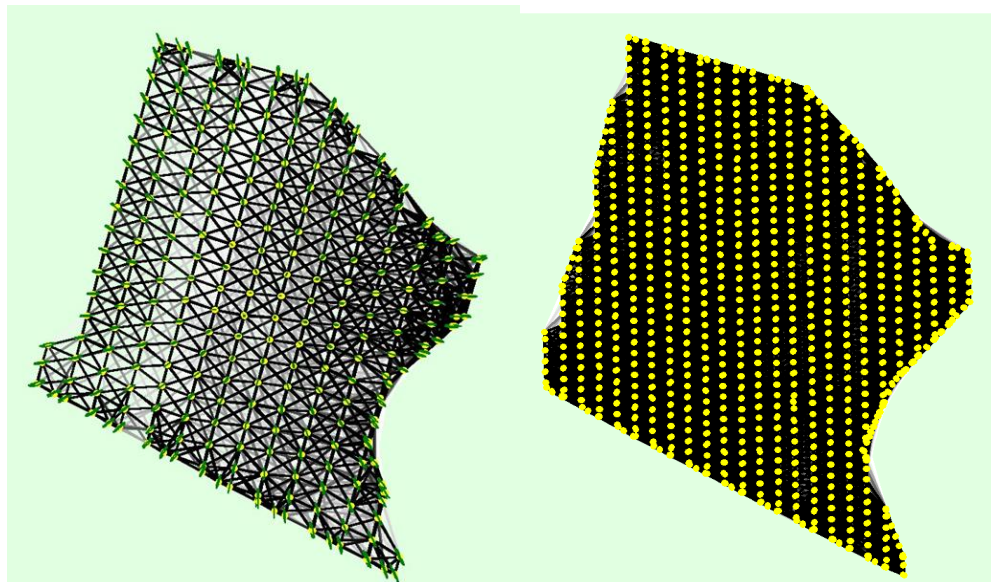
Tabela 6 - Quantidade de imagens e pontos 3D observados.

Quantidade de imagens	Pontos 3D observados (Sobreposição 50%)	Pontos 3D observados (Sobreposição 70%)
2	2.575.798	5.608.850
3	1.104.311	2.661.213
4	624.506	1.544.281
5	253.966	956.239
6	150.284	655.186
7	87.110	483.709
8	61.341	367.106
9	30.613	279.008
10	21.165	222.677
11	11.502	184.765
12	8.201	153.571
13	4.707	96.828
14	3.400	73.330
15	2.142	59.229
16	1.594	47.742
17	1.019	32.485
18	702	24.694
19	385	19.565
20	284	15.454
21	190	12.356
22	139	10.399
23	62	8.327
24	51	6.627
25	15	4.495
26	13	3.368
27	-	2.649
28	-	2.086
29	-	1.604
30	-	1.188
31	-	953
32	-	760
33	-	544
34	-	384
35	-	248
36	-	198
37	-	136
38	-	124
39	-	87
40	-	72
41	-	41
42	-	40
43	-	29
44	-	21
45	-	10
46	-	5
47	-	6
48	-	5
49	-	5
50	-	3
51	-	4
52	-	4
53	-	1
58	-	1

Fonte: os autores.

A Figura 8 exibe a densificação dos pareamentos entre as imagens (aerotriangulação). Nota-se que na Sobreposição de 50% (A) tem um pareamento menos denso em relação à Sobreposição de 70% (B).

Figura 8 – Densificação do pareamento entre as imagens: sobreposições 50% (A) e 70% (B).



Fonte: os autores

(A)

(B)

25 222 444 666 888 1111 1333 1555 1777 2000

3.8 Erros do georreferenciamento absoluto e relativo das imagens

A Tabela 7 exibe os desvios-padrão dos erros do georreferenciamento absoluto, para às sobreposições de 50% e de 70% (coordenadas X, Y e Z). Nota-se que, em termos planimétricos (X e Y), os resultados foram similares; mas, para a coordenada Z a Sobreposição de 70% apresentou um melhor resultado.

Tabela 7 – Desvios-padrão do erro absoluto do georreferenciamento das imagens para as coordenadas X, Y e Z.

	X	Y	Z
Sobreposição 50%			
Desvio-padrão (m)	1,30	1,23	1,88
Sobreposição 70%			
Desvio-padrão (m)	1,39	0,94	0,65

Fonte: os autores.

A Tabela 8 exibe os desvios-padrão dos erros do georreferenciamento relativo, para às sobreposições de 50% e de 70% (coordenadas X, Y e Z). Nota-se que, diferentemente dos resultados apresentados na Tabela 8, a Sobreposição de 70% apresentou melhores resultados em todas as coordenadas (X, Y e Z). Esse resultado pode ser explicado pela

maior sobreposição, que gera um maior número de *key-points* e de pontos 3D, que, por sua vez, melhora o georreferenciamento relativo das imagens entre si.

Tabela 8 - Desvios-padrão do erro relativo do georreferenciamento das imagens para as coordenadas X, Y e Z.

	X	Y	Z
Sobreposição 50%			
Desvio-padrão (m)	0,10	0,10	0,16
Sobreposição 70%			
Desvio-padrão (m)	0,01	0,01	0,03

Fonte: os autores.

3.8 Tempo de processamento do Modelo Digital de Superfície e do Ortomosaico

A Tabela 9 exibe os respectivos tempos de processamento para a geração do MDS e do ortomosaico nos dois tratamentos. Nota-se que o tempo de processamento para a geração do Modelo Digital de Superfície, para ambos os tratamentos foram iguais a um minuto. Já para o Ortomosaico, a Sobreposição de 70% levou o dobro de tempo para a sua geração em relação a Sobreposição de 50%, porém, ainda um tempo relativamente baixo (pouco mais de uma hora).

Tabela 9 – Tempo de processamento para geração dos produtos aerofotogramétricos.

Sobreposição 50%	
Modelo Digital de Superfície	1 min
Ortomosaico	28 min
Sobreposição 70%	
Modelo Digital de Superfície	1 min
Ortomosaico	1 h 4 min

Fonte: os autores.

4 CONCLUSÕES

Conclui-se que a sobreposição de 70% apresenta melhores resultados, em quase todos os quesitos avaliados, em relação a sobreposição de 50%. Porém, no tratamento de 70% é necessário um maior tempo de processamento para o ortomosaico, mas o aumento de tempo não é muito significativo; portanto, recomenda-se que se utilize a sobreposição de 70% dentro das condições experimentais, podendo ser usada em Agricultura Digital, Agropecuária de Precisão, entre outros.

REFERÊNCIAS

BUFFON, E. A. M.; PAZ, O. L. DE S. DA; SAMPAIO, T. V. M. Uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (Vant) Para Mapeamento das Vulnerabilidades à Inundação Urbana: Referenciais e Bases de Aplicação. **Geography Department University of Sao Paulo**, n. spe, p. 180, 27 jun. 2017.

CALOU, V. B. C. et al. Statistical process control and mapping accuracy standards applied to aerial surveys. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 52, n. 1, p. 1–9, 2021.

GUILLOT, B.; POUGET, F. UAV Application In Coastal Environment, Example Of The Oleron Island For Dunes And Dikes Survey. **ISPRS**, p. 320–326, 2015.

JOÃO, E. M. Use of geographic information systems in impact assessment. In: PORTER, A. L., FITTIPALDI, J.J. (editors). **Environmental Methods Review: Retooling Impact Assessment for the New Century**. North Dakota: U.S. Army Environmental Policy Institute, Atlanta, Georgia, and International Association for Impact Assessment, Fargo, 1998, p. 154–163.

LONGHITANO, G. A. **VANTS Para Sensoriamento Remoto: Aplicabilidade Na Avaliação e Monitoramento De Impactos Ambientais Causados Por Acidentes Com Cargas Perigosas**. São Paulo: 2010.

POPESCU, D.; ICHIM, L.; CARAMIHALE, T. **Flood areas detection based on UAV surveillance system**. 2015 19th International Conference on System Theory, Control and Computing, ICSTCC 2015 - Joint Conference SINTES 19, SACCS 15, SIMSIS 19. **Anais...**Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 5 nov. 2015.

ROSALEN, D. L. **Estudo do processo de captação de imagens aplicado à fotogrametria digital**. São Carlos, SP. 1997.

ROSALEN, D. L. et al. **Caracterização Altimétrica Através De Sensor Multiespectral Embarcado Em Aeronave Remotamente Pilotada**. Rio de Janeiro. 2015.

ROSALEN, D. L. Veículo aéreo não tripulado – VANT. In: **Processos Agrícolas e mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA, 2015a. p. 589-600. ISBN 978-85-646-8106-4.

SILVA, L. A. **Levantamentos altimétricos realizados por meio aerofotogramétrico: um estudo multicaso**. Pau dos Ferros: UFERSA, 2019.

SOLOMON, D. et al. **Phosphorus forms and dynamics as influenced by land use changes in the sub-humid Ethiopian highlands***Geoderma*. [s.l]. 2002. solomonDisponível em: <www.elsevier.com/locatergeoderma>.

SOPCHAKI, C. H. et al. Geografia eleitoral: Uma revisão e possíveis caminhos. **RA’E GA - O Espaço Geografico em Analise**, v. 39, p. 43–56, 1 abr. 2017.

TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria Básica** - Introdução. p.1-14. 2009.

TORRADO, J. O. E.; JIMÉNEZ, J. J. C.; DÍAZ, H. P. Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas UAV. v. 20, p. 119–140, 2016.

TURNER, I. L.; HARLEY, M. D.; DRUMMOND, C. D. UAVs for coastal surveying. **Coastal Engineering**, v. 114, p. 19–24, 1 ago. 2016.

UTSUNOMIYA, R. **Impactos Sociais e Efeitos Cumulativos decorrentes de grandes projetos de desenvolvimento: tuAplicação de Rede de Impactos e Sobreposição de Mapas em estudo de caso para o Litoral Norte Paulista**. São Carlos: USP, 2014.

VISENTINI, G. C. **Uma Plataforma De Aquisição E Processamento De Imagens Aéreas**. Passo Fundo: UPF, 2018.