

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Rafael José Cardoso

**Construção de um mosaico utilizando um
veículo aéreo não-tripulado através da
fundamentação cartográfica**

Monte Carmelo, MG

2018

Rafael José Cardoso

Construção de um mosaico utilizando um veículo aéreo não-tripulado através da fundamentação cartográfica

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Computação da Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, como requisito exigido parcial à obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de Informação.

Monte Carmelo, MG, 21 de Junho de 2018:

Prof. Dr. Jefferson Rodrigo de Souza
Orientador

**Prof. Dr. Henrique Cândido de
Oliveira**
Convidado

Prof. Dr. Leandro Nogueira Couto
Convidado

Monte Carmelo, MG
2018

Resumo

Um desafio para a agricultura de precisão é o aumento de sua produtividade com baixo custo, onde usando Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) é possível obter e manipular informações geográficas facilitando o estudo individual de cada área plantada. Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresenta o uso de VANTs para a construção de um mosaico a partir de imagens aéreas, onde a mosaicagem é essencial para auxiliar na tomada de decisão na agricultura de precisão. Foi demonstrado durante ao decorrer do desenvolvimento do trabalho a importância do uso de pontos de controle em um levantamento fotogramétrico para a agricultura de precisão. Estudou-se diferentes técnicas para a construção deste mosaico, fundamentando-o na área da Fotogrametria; em que foi usado o método indireto para a retificação das imagens e a técnica de mosaicagem geométrica para a concatenação de imagens. Desta forma, foi obtido um mosaico de uma área específica, ressaltando o apoio na agricultura de precisão.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão, VANTs e Mosaico.

Agradeça a Deus por tudo, pense positivamente, ele jamais colocaria obstáculos em seu caminho se não soubesse que você seria capaz de ultrapassá-los, no fundo isso é apenas um teste para definir o tamanho da sua fé.

Agradecimentos

À Deus por tudo, por ter me proporcionado saúde e motivação ao longo de minha vida.

Aos meus pais e irmãos pelo incentivo, confiança e amor incondicional.

Aos meus orientadores Jefferson Rodrigo de Souza e Henrique Cândido de Oliveira pela paciência e por todo o incentivo que me deram para concluir este trabalho.

Aos meus amigos que conheci durante o curso, que considero como irmãos, por toda ajuda e suporte.

Á minha namorada por acreditar em mim e estar comigo nos momentos mais difíceis durante esta etapa da minha vida.

À banca examinadora por aceitar fazer parte desse momento tão importante na minha vida.

E á um grande amigo Fabiano, que partiu desta vida para outra, mas antes de ir me demonstrou a importância de se acreditar na melhor parte das pessoas e nunca desistir de seus sonhos.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Aplicação do modelo de árvore de regressão para remover nuvens nas imagens do satélite Landsat para gerar o mosaico (HELMER; RUEFENACHT, 2005).	14
Figura 2 – Fluxograma para geração do mosaico (OSHIRO; TADATOMO, 2015).	15
Figura 3 – Fluxograma do projeto. Adaptado de (LALIBERTE et al., 2010).	16
Figura 4 – Histórico da fotogrametria. Adaptado de (BRITO; COELHO, 2002).	18
Figura 5 – Matriz de rotação. Adaptado de (LUGNANI, 1987).	22
Figura 6 – Princípio de Colinearidade. Fonte: (LUGNANI, 1987).	22
Figura 7 – Modelo de geração de imagem retificada. Fonte: (LUGNANI, 1987).	23
Figura 8 – Bloco formado pelas linhas de voo e a sobreposição longitudinal e lateral. Fonte: (TOMMASELLI, 2009).	26
Figura 9 – DJI phantom 3 standard - Drone Utilizado para extração dos dados. Fonte: (PHANTOM, 2018)	30
Figura 10 – Etapas da retificação. Fonte: (HASEGAWA; ARRUDA, 2004).	32
Figura 11 – Mosaicagem geométrica. Adaptado de: (HASEGAWA; ARRUDA, 2004).	33
Figura 12 – Etapas da mosaicagem. Fonte: (HASEGAWA; ARRUDA, 2004).	35
Figura 13 – Diagrama de atividades mostrando o passo do software para chegar ao produto final, Fonte: Própria (2018).	37
Figura 14 – Imagens originais e suas respectivas retificadas referentes ao primeiro Mosaico a ser construído. Fonte: Própria (2018).	38
Figura 15 – Mosaico 1 com inclusão de 81 imagens digitais - Produzido através do método indireto. Fonte: Própria (2018).	39
Figura 16 – Imagens originais e suas respectivas retificadas referentes ao segundo Mosaico a ser construído. Fonte: Própria (2018).	40
Figura 17 – Mosaico 2 com inclusão de 111 imagens digitais - Produzido através do método indireto, Fonte: Própria (2018).	41
Figura 18 – Imagens originais e suas respectivas retificadas referentes ao terceiro Mosaico a ser construído. Fonte: Própria (2018).	43
Figura 19 – Mosaico 3 com inclusão de 176 imagens digitais - Produzido através do método indireto. Fonte: Própria (2018).	44
Figura 20 – Importação de bibliotecas utilizadas. Fonte: Própria (2018).	49
Figura 21 – Pré definição de variáveis constantes. Fonte: Própria (2018).	50
Figura 22 – Abertura e leitura dos arquivos de parâmetros de orientação exterior e interior, realização de alguns processos. Fonte: Própria (2018).	51
Figura 23 – Retificação pelo método indireto. Fonte: Própria (2018).	52
Figura 24 – Técnica de Mosaicagem. Fonte: Própria (2018).	52

Lista de tabelas

Tabela 1 – Categoria dos Veículos Aéreos Não Tripulados. Fonte: ANAC, (2017). . .	25
Tabela 2 – Arquivo 1 com dados referentes a primeira imagem do Mosaico 1. Fonte: Própria (2018).	53
Tabela 3 – Arquivo 1 com dados referentes a primeira imagem do Mosaico 2. Fonte: Própria (2018).	53
Tabela 4 – Arquivo 1 com dados referentes a primeira imagem do Mosaico 3. Fonte: Própria (2018).	53

Lista de abreviaturas e siglas

VANT	Veículo Aéreo Não-Tripulado
USA	United States of America
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso

Sumário

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Motivação	10
1.2	Justificativa	11
1.3	Objetivos	12
1.3.1	Objetivo Geral	12
1.3.2	Objetivos Específicos	12
1.3.3	Contribuições	13
1.4	Organização do TCC	13
2	TRABALHOS RELACIONADOS	14
2.1	Imagens de satélites	14
2.2	Imagens aéreas de VANTs	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1	Fotogrametria	18
3.2	Reamostragem em imagens digitais	19
3.3	Retificação de imagens digitais	20
3.4	Veículo Aéreo Não Tripulado	24
3.5	Planejamento de Voo	25
3.6	Visão Computacional	27
3.6.1	Visão estereoscópica	27
3.7	Mosaicagem	28
3.8	Transformações geométricas	28
4	MATERIAIS E METÓDOS	30
4.1	Materiais utilizados	30
4.2	Parâmetros de orientação	30
4.3	Metodologia para retificação de imagens	31
4.4	Mosaicagem geométrica baseado no método indireto	33
5	RESULTADOS	36
5.1	Cenário 1 - Uso de pontos de apoio	36
5.2	Cenário 2 - Nível inicial de processamento	40
5.3	Cenário 3 - Sem qualquer processamento	42
6	CONCLUSÃO	45

REFERÊNCIAS	47
APÊNDICE A – CODIFICAÇÃO	49
APÊNDICE B – PROCESSO DE RETIFICAÇÃO	53

1 Introdução

1.1 Motivação

Agricultura é umas das principais atividades para a nossa sociedade. Sua importância não diminuiu com o surgimento de fábricas, nem com a chegada da era digital; de um modo sucinto, podemos descrever a agricultura como um conjunto de técnicas concebidas para cultivar a terra para obtenção de alimentos e matérias primas para produção de bens, sejam esses industrializados ou não (TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002).

Ao longo dos anos, houve um crescimento demográfico populacional acelerado comparado com os produtos finais que a agricultura oferece, esse é um dos motivos para a agricultura ter se expandido, buscando cada vez mais novos mercados e demandando um espaço concentrado para a realização particular de estudos da área (KINKARTZ, 2011). Assim sendo, houve um enorme aumento de áreas plantadas e agricultores nos últimos anos, visando cada vez mais multiplicar sua produção através de novas técnicas eficazes, com o intuito de abastecer esses novos mercados. Contudo, o tratamento individual do ser humano para essas “grandes áreas plantadas” tornou-se inviável.

Com o crescimento demográfico populacional, a tecnologia também evoluiu a fim de acompanhar e auxiliar as necessidades humanas, com a evolução VANTs. Inicialmente, os VANTs eram aplicados na execução de missões militares que ofereciam risco a vida humana (FONTANARI, 2011), porém nos últimos anos essa nova tecnologia vem sendo uma ferramenta importante como opção na agricultura de precisão, devido à grande facilidade na obtenção e manipulação de informações geográficas facilitando o tratamento individual de cada área plantada. Contudo a relação entre os VANTs e agricultura vem se tornando cada dia mais íntima, devido ao apoio que os VANTs fornecem ao campo agrícola devido a facilidade que eles conseguem tratar grandes áreas plantadas, com baixo custo e uma flexibilidade cada vez maior, poupando tempo com a velocidade que os VANTs propõem a agricultura para o tratamento de áreas específicas em um curto tempo (e.g. determinar falhas de plantio, detecção de doenças, etc.).

Dessa forma fica fácil visualizar a importância dos VANTs perante a agricultura brasileira, encaixando e sendo um pilar dando fundamental para servir de apoio à agricultura de precisão, e é nesse exato momento que se encaixa a área Computacional, com o uso de VANTs é possível obter imagens áreas e através dessas imagens é possível aplicar técnicas ou algoritmos para processamento dessas imagens, e através do processamento dessas imagens é possível distinguir características importantes dos objetos imageados das áreas sobrevoadas a fim de se ter algum relacionamento importante para servir de apoio

à agricultura de precisão.

A aplicação desses VANTs nas áreas agrícolas vem sendo muito utilizado pelo baixo custo do mesmo, facilidade de uso e pela necessidade dos agricultores aumentarem sua produtividade. Ao mesmo tempo, houve uma crescente evolução da robótica, favorecendo aplicações com imagens aéreas, tornando mais frequente nos últimos dez anos o uso de VANTs nos campos agrícolas (JORGE; INAMASU, 2013).

Segundo (BERNARDI; INAMASU, 2014), a aplicação da agricultura de precisão tem por intuito o aumento da produtividade de suas zonas agrícolas, com a qualidade final dos produtos gerados andando lado a lado com a sustentabilidade. Segundo estudos realizados pelos autores foi possível identificar que o emprego de tecnologias em áreas agrícolas pode trazer benefícios referentes ao aumento da produção e diminuição de custos, mostrando por dados estatísticos que quem aplica a agricultura de precisão pode ter uma rentabilidade econômica maior do que quem não aplica tal tecnologia.

1.2 Justificativa

Através dos VANTs é possível construir mosaicos utilizando imagens aéreas, os quais são fundamentais para análises que auxiliarão na agricultura de precisão. Vale salientar, que a construção de um mosaico consiste basicamente na busca homóloga entre duas ou mais imagens sobrepostas entre si. Segundo (CHON; KIM; LIN, 2010), um mosaico consiste em unificar uma quantidade de imagens em uma nova imagem. A importância da construção de um mosaico é usada para os devidos fins, por exemplo em áreas agrícolas, permite direcionar vistorias de campo durante o ciclo de cultivo, em datas posteriores ou anteriores a colheita, o que fornece um diagnóstico preciso da área de cultivo (LEBOEUF, 2000). Dessa forma, com o diagnóstico da área é possível elaborar mapas de recomendações auxiliando nas tomadas de decisões cabíveis, entre outras aplicações. A competência da tomada de decisão auxilia no controle de pragas, falhas de plantio, doenças e queimadas (LELONG et al., 2008).

Praticamente todos os processamentos realizados sobre uma área necessitam de um mosaico, e quase todos os softwares existentes no mercado para a construção de mosaicos são softwares pagos e difíceis de poder aquisitivo, tornando difícil a aplicação de tal técnica para apoio na agricultura de precisão ou demais áreas. Anteriormente a ser realizado a construção de um mosaico existem algumas etapas julgadas essenciais. Para ser realizado a construção de um mosaico com acurácia, existe uma etapa importante capaz de tirar distorções de um mosaico: a retificação de imagens. Este presente trabalho apresenta o processo de retificação de imagens como uma etapa responsável por tirar distorções de deslocamento causadas pela inclinação da foto, lembrando que este processo de retificação não minimiza distorções causadas pelo deslocamento devido ao relevo, ou

seja, no processo de retificação de imagens são considerados variantes apenas a latitude e longitude, os elementos da imagem referente a sua altitude são considerados constantes. Contudo este presente trabalho tem por intuito realizar a construção de um software livre para realizar construção de mosaicos para dar apoio às áreas afins que desejam utiliza-lo.

Vale destacar que a construção desses mosaicos pode ser realizada via imagens de satélites ou mediante imagens aéreas, entretanto há diferenças entre esses dois conjuntos de dados. Uma das vantagens da obtenção das imagens por satélites é a qualidade da análise de aspectos, porque os sensores utilizados nos satélites são multiespectrais (diversas bandas, não só o RGB, ou seja, maior resolução espectral), porém restringe-se a aplicações, devido ao não detalhamento dos objetos imageados em solo. Ressalta-se que com a tecnologia atual já é possível obter imagens de satélite com um nível melhor de características, porém ainda há um alto custo. Um melhor nível de detalhes destas imagens é essencial, principalmente para produzir informações adequadas para a tomada de decisão confiável para seu uso, neste ponto que os VANTs são úteis para solução do problema. Visto que, as imagens obtidas pelos VANTs apresentam um nível de detalhamento maior dos objetos imageados (resolução espacial) do que as imagens produzidas pelos satélites. O custo financeiro das imagens de satélites é ainda um fator limitante do seu uso, tornando caro qualquer projeto para sua aplicação.

Há outro fator importante a ser destacado, atualmente no mercado os softwares existentes para a construção desses mosaicos são todos de uso comercial, com alto custo de aquisição financeira. Devido a esses fatores limitantes, o objetivo deste TCC baseia-se na aquisição de imagens aéreas utilizando VANT, pois através dele é possível extrair os dados acoplados ao mesmo (e.g. câmera, GPS e Unidade de Medida Inercial), com intuito de desenvolver um software livre para a construção de mosaicos, pois através deste software é possível realizar inúmeras análises da área sobrevoada, um exemplo é o apoio que eles podem oferecer na agricultura de precisão.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O desenvolvimento de um sistema que realize a construção de um mosaico utilizando os princípios da Fotogrametria.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Investigar métodos para mosaicagem de imagens digitais;
- Propor uma metodologia para o desenvolvimento de um sistema que realize a mo-

saicagem de imagens digitais obtidas por um VANT específico;

- Implementar e testar rotinas para realização da metodologia proposta.

1.3.3 Contribuições

As principais contribuições deste trabalho para o problema de se gerar um mosaico através dos princípios da Fotogrametria, para dar apoio a agricultura de precisão são:

- Desenvolver um sistema que realize a construção de um mosaico através da técnica de retificação pelo método indireto;
- Acoplar este sistema a técnica de mosaicagem geométrica para se produzir um mosaico, para que auxilie nas tomadas de decisões cabíveis de uma determinada área.

1.4 Organização do TCC

O documento está organizado em 6 Capítulos, cujos conteúdos se encontram estruturados abaixo:

- Capítulo 2 descreve os trabalhos relacionados aos problemas de construção de um mosaico baseado através de imagens de satélites e imagens aéreas de VANTs;
- Capítulo 3 aborda a fundamentação e as técnicas necessárias para se construir um mosaico, apresentando suas características e limitações;
- Capítulo 4 apresenta os materiais e métodos usados para a construção da metodologia;
- Capítulo 5 descreve os resultados obtidos com a metodologia empregada, apresentando as características distintas de cada mosaico construído;
- Capítulo 6 apresenta a conclusão dos trabalhos realizados neste trabalho.

2 Trabalhos Relacionados

Este Capítulo descreve os trabalhos relacionados perante a construção de um mosaico baseado através de imagens de satélites, que podem ser visualizadas na Secção 2.1, enquanto a Secção 2.2 apresenta os trabalhos envolvidos com a construção de um mosaico através de imagens aéreas obtidas por VANTs.

2.1 Imagens de satélites

Esta seção visa detalhar os trabalhos relacionados visando extrair informação necessária para a construção de um mosaico através de imagens de satélites, citando os objetivos dos trabalhos, suas metodologias, resultados adquiridos e uma breve análise.

([HELMER; RUEFENACHT, 2005](#)) propuseram uma estratégia para construir mosaico usando imagens de satélites, com intuito de detectar mudanças da área analisada. A metodologia usa modelos de árvore de regressão para prever supostas nuvens sobre as imagens de satélites, e posteriormente removê-las. Em segundo lugar, combina imagens ao longo tempo, ou seja, as imagens que possuem correspondência umas com as outras (sobreposição de imagens) usando a técnica de correspondência de histograma. Os resultados indicam que a previsão do algoritmo baseado em árvore de regressão com correspondência de histograma soluciona a persistente cobertura das nuvens nas imagens do satélite. Figura 1 apresenta a aplicação do modelo de árvore de regressão. É possível observar que as nuvens (a) foram removidas (c) usando modelos de árvore de regressão. O resultado (b) mostra as áreas azuis onde os modelos de árvore de regressão foram aplicados.

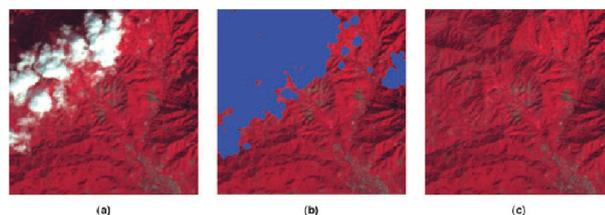


Figura 1 – Aplicação do modelo de árvore de regressão para remover nuvens nas imagens do satélite Landsat para gerar o mosaico ([HELMER; RUEFENACHT, 2005](#)).

Uma das vantagens desse método é que a correspondência de histograma com base em áreas de sobreposição de imagens permite a construção de um mosaico contínuo de cenas que foram submetidas a remoção de nuvem com previsão utilizando-se o algoritmo de árvore de regressão. As desvantagens deste método se restringe ao fato dos erros nas previsões das árvores de regressão, pois estas previsões têm o potencial de classificar as imagens em classes que não deveriam ser classificadas, devido as diferenças espectrais

sutis que causam algumas percas de detalhe nas imagens. Outra vantagem da abordagem é que não requerem interpretação manual, pois podem suportar processamento em grande volume para distribuir imagens sem nuvens. Essas imagens permitem detecções de mudanças marcadas de terras com ferramentas de classificação disponíveis, assim compreendendo que o mosaico tem seu benefício quando se deseja cobrir uma área em estudo.

O processo de geração de um mosaico digital usando imagens de Moçambique com o satélite Landsat 8 em 2013 e o software Erdas Imagine 2014 foi desenvolvido por (OSHIRO; TADATOMO, 2015). Este processo constrói um mosaico através imagens de satélite, o fluxograma é detalhado na Figura 2. As imagens obtidas são fornecidas no formato tiff, com resolução de 16 bits, georreferenciadas, e cada uma representa uma faixa do espectro captada pelo satélite. O resultado produzido foi o mosaico de Moçambique através da utilização de 49 imagens do satélite Landsat 8. O mosaico é útil para identificar os objetos em uma cobertura das terras do país de Moçambique. Os resultados obtidos fornecem informações que podem apoiar o desenvolvimento social e econômico do país.

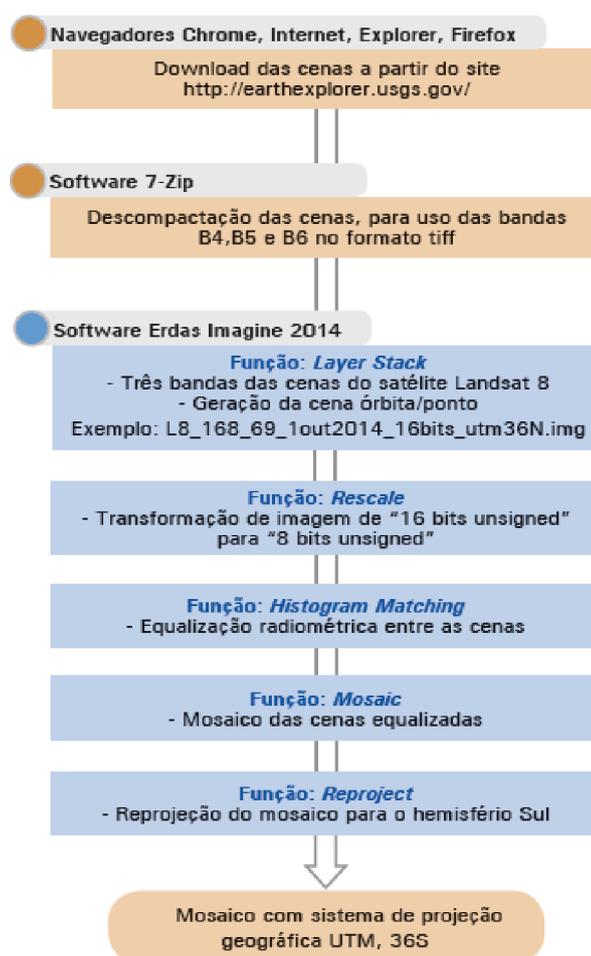


Figura 2 – Fluxograma para geração do mosaico (OSHIRO; TADATOMO, 2015).

Contudo, uma das vantagens da elaboração deste trabalho é a facilidade de aquisição das imagens por serem provenientes de forma gratuitas, entretanto uma das dificul-

dades é a necessidade do software para aplicação das várias etapas da metodologia para o desenvolvimento do mosaico, pois o software usado é de uso comercial, tornando difícil o acesso a quem deseja utilizá-lo. Dessa forma, a importância de se desenvolver uma metodologia baseada no paradigma de software livre para a construção de mosaicos.

2.2 Imagens aéreas de VANTs

Esta seção visa detalhar os trabalhos relacionados para extrair as informações necessárias para construção de um mosaico usando VANTs, citando os objetivos dos trabalhos, suas metodologias propostas, os resultados adquiridos e uma breve análise crítica.

(LALIBERTE et al., 2010) analisaram um VANT de pequeno porte para monitoramento de pastagens. A área sobre a qual as imagens foram adquiridas está localizada a 3 km da sede do Regime de Serviço de Pesquisa Agropecuária do USA (ARS) em Reynolds Creek. O VANT usado foi um MLB BAT 3, o qual é autônomo guiado por GPS e possui duas câmeras: uma de vídeo com capacidade de zoom óptico em voo e uma digital para aquisição de imagens. Ademais, o VANT fornece elevação, orientação, inclinação e rotação. Foi desenvolvido um procedimento de ortorretificação para lidar com as distorções das imagens obtidas pelo VANT e utilizada uma análise de imagens hierárquicas baseadas em objetos para classificar o solo usando procedimentos padrão de monitoramento de pastagens. O projeto realizado incluiu tarefas como: pesquisa do site, planejamento de voo, aquisição das imagens, processamento de imagem, medições do solo e avaliação de precisão, aplicação COA que nos USA é uma aplicação onde se tem por finalidade ter uma autorização emitida pela Organização de Tráfego Aéreo para um operador público para uma atividade específica de um VANT. (Figura 3).

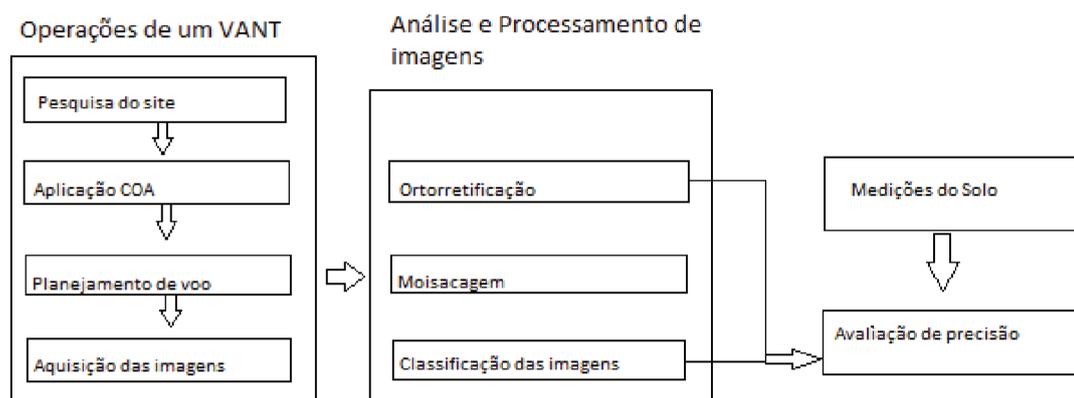


Figura 3 – Fluxograma do projeto. Adaptado de (LALIBERTE et al., 2010).

Os resultados indicam que o uso de VANT para monitoramento é relevante, pois é capaz de revisar locais de difícil acesso e obter imagens de alta resolução em medições do solo. Foi possível mostrar classificação de vegetação do mosaico usando árvores de processo

(segmentação, classificação) obtendo bons resultados de precisão de 83% e 88%. Uma das vantagens é a análise de imagem, pois os algoritmos de segmentação e classificação podem ser desenvolvidos na imagem e transferidos para todas as outras imagens com ajustes pequenos. Os fatores limitantes das operações baseadas em VANTs são custos associados ao equipamento, pessoal, treinamento e requisito para pedido de permissão de voo concedido pela agência responsável localmente. Através do estudo pôde-se demonstrar que os VANTs podem ser usados com êxito para obter imagens para monitoramento de pastagens e realizar medições do solo, motivando o uso de um VANT neste TCC.

(TARALLO, 1993) apresenta uma ferramenta para construção automática de mosaicos usando uma transformada SIFT (*Scale-Invariant Feature Transform*) para unir as imagens sequenciais. Inicialmente foram obtidas 50 imagens através de um VANT. A base de imagens foi adquirida de acordo com o seguinte procedimento: a câmera acoplada ao suporte do VANT de maneira horizontal à superfície da terra; o VANT percorreu sempre a mesma distância, fazendo movimentos horizontais na área demarcada para obtenção das imagens. O trabalho de (TARALLO, 1993) usou as técnicas SIFT, BBF (*Best-Bin-First*) e RANSAC (*Random Sample Consensus*). A SIFT é utilizada para a extração de características, a BBF para encontrar pontos correspondentes entre os pares de imagens e o RANSAC para filtrar os falsos pontos correspondentes entre imagens. Foram aplicadas técnicas de transformações: planar, cilíndrica e esférica para encontrar as correspondências entre as duas imagens sequenciais, testando o algoritmo desenvolvido. De acordo com a aplicação das três transformadas em cada uma das 5 subclasses da base de imagens foi possível observar por inspeção visual um profissional da área que a transformação cilíndrica produziu imagens finais com menos distorção ao construir o mosaico. Os resultados obtidos foi possível observar de maneira satisfatória a possibilidade da implementação da ferramenta usada para produção de mosaicos, auxiliando com rapidez no controle de pragas, desmatamento e queimadas devido à redução do tempo de construção do mosaico, da ordem de horas (semiautomático) para minutos (automático).

Contudo foi permitido demonstrar a importância da aplicação de um VANT para a obtenção de imagens aéreas, e a aplicação de algumas técnicas para a geração de um mosaico posteriormente usando por exemplo, o SIFT, BBF e RANSAC. E que a aplicação de algumas transformações: planar, cilíndrica e esférica tem a finalidade de remover distorções ao se construir um mosaico. Com base no que foi constatado o estudo indica técnicas possíveis que podem auxiliar na elaboração deste TCC.

3 Fundamentação Teórica

3.1 Fotogrametria

Pode-se definir a fotogrametria como a arte, ciência e tecnologia que, baseado no registro, medição e interpretação de fotografias, se obtém informação geométrica e semântica confiável sobre os objetos físicos fotografados. Logo ainda, conforme dito por (MEDEIROS et al., 2007), a fotogrametria consiste na ciência e tecnologia, capaz de reconstruir o espaço tridimensional, denominado de espaço objeto, a partir de imagens bidimensionais advindas da gravação de padrões de ondas eletromagnéticas, também chamado de espaço-imagem ou sistema fotográfico, sem a necessidade do contato físico entre o objeto ou alvo de interesse e o sensor. A fotogrametria, segundo expressa (TOMMASELLI, 2009), quanto a evolução das tecnologias empregadas se classifica em fotogrametria analógica, fotogrametria analítica e fotogrametria digital, como por ser visto na Figura 4. A fotogrametria analógica, sendo o método mais antigo, era trabalhada com a inexistência de computadores que careciam da capacidade de realizar o tratamento necessário das informações e os cálculos das diversas etapas do projeto fotogramétrico, recorrendo então apenas aos instrumentos analógicos. A fotogrametria analítica, por sua vez, com o surgimento dos computadores, tornou a participação instrumental no processo fotogramétrico pouco utilizada, permitindo uma maior precisão e eficácia na elaboração dos modelos matemáticos envolvidos no processo. Por fim, a fotogrametria digital, que vigora nos dias de hoje devido ao desenvolvimento tecnológico crescente nos últimos anos, tornou possível a captura de imagens digitais e aplicações gráficas em virtude da modernização das câmeras digitais e de computadores com maior robustez.

Fotogrametria	Entrada	Processamento	Saída
Analógica	Fotografia Analógica (em filme)	Analógico (óptico-mecânico)	Analógica (<i>scribes</i> ou fotolitos) no passado ou digital (CAD, por exemplo) no presente
Analítica	Fotografia Analógica (em filme)	Analítico (computacional)	Analógica (<i>scribes</i> ou fotolitos) no passado ou digital (CAD, por exemplo) no presente
Digital	Imagem digital (obtida de câmara digital, por exemplo) ou digitalizada (foto analógica submetida a um <i>scanner</i>)	Analítico (computacional)	Digital

Figura 4 – Histórico da fotogrametria. Adaptado de (BRITO; COELHO, 2002).

3.2 Reamostragem em imagens digitais

Segundo (SCHENK, 1999), uma imagem digital é denominada como uma representação de duas dimensões (bidimensional) de uma imagem, utilizando bits, que na área da Computação é uma unidade de informação baseado em apenas dois dígitos ou 0 ou 1. Dessa forma pode-se definir essa representação bidimensional da imagem como uma função:

- $f(x, y)$;

Onde:

- x , pode ser referente a linha;
- y , pode ser referente a coluna.

Os valores dados a cada elemento de x e y podem ser variados, quando se assume um valor pré-definido aos elementos x e y estes valores podem ser chamados de pixels de uma imagem, o processo de reamostragem tem por intuito retransmitir esses valores ou pixels a uma nova imagem aplicando cálculos específicos ao que se deseja realizar.

Um pixel pode apresentar uma combinação de dígitos para que uma imagem possa ter várias cores distintas. No processo computacional para trabalho de imagens digitais tem-se que ressaltar que a tela de um computador trabalha com combinações de cores primárias: vermelho, verde e azul, por isso é tão comum quando se trabalha com imagens digitais lembrar das coordenadas de 3 pontos o RGB que vem oriundo do inglês e significa nada mais nada menos que:

- R representa a cor vermelha, do inglês Red;
- G representa a cor verde, do inglês Green;
- B representa a cor azul, do inglês Blue;

Ressaltando que esses pixels podem representar 256 níveis diferentes de combinações aleatórias, variando de 0 a 255.

Contudo devido ao computador conseguir trabalhar com esse sistema de coordenada de cores RGB, fica mais fácil a aplicação de cálculos matemáticos a imagens e a aplicação da Fotogrametria.

Em particular pode-se falar de um método basicamente simples de reamostragem, o método do vizinho mais próximo que busca a correlação dos valores dos pixels de uma imagem para outra baseado na coordenada (coluna, linha), onde pode-se determinar

que onde haja valores iguais de pixels em uma (coluna, linha) não irá ser feito nada e onde houver valores de pixels diferentes em uma (coluna, linha) será feito algo. Uma das vantagens deste método é sua complexidade computacional baixa e não deixar haver alteração de valores de cores dos pixels que compõe uma imagem, entretanto pode haver uma disjunção na concatenação de pixels na imagem final (ALMEIDA, 1989).

3.3 Retificação de imagens digitais

Antes de se falar de retificação, é importante entender e destacar a área computacional em que esse processo se encaixa. A retificação de imagens digitais é uma subárea do processamento digital de imagens. O estudo da área de Processamento de Imagens tem basicamente como objetivo manipular dados de uma imagem por meio computacional, ou seja, manipular imagens através de computadores de modo onde a entrada e a saída do processo são imagens. Vale entender também que o processamento digital de imagens pode ser dividido em três fases:

- Pré-processamento: Processamento inicial dos dados de entrada de uma imagem, a fim de corrigir erros de distorções não esperados nas imagens;
- Realce: De forma sucinta é uma etapa responsável por melhorar a qualidade da imagem através do realce dos detalhes dos objetos de uma determinada imagem;
- Classificação: Etapa responsável por classificar objetos distintos de uma imagem. Exemplo: Em uma plantação de café distinguir o que é um grão de café e o que não é, determinar padrões para a classe de café (e.g. cor, formato, etc).

Com tudo, depois de entender um pouco a área de processamento digital de imagens fica bem fácil explicar a retificação de imagens. A retificação pertence a fase de Pré-Processamento dentro do processamento de imagens, assim é um processo que tem por definição realizar operações para poder minimizar distorções com a finalidade de criar uma representação mais coesa dos objetos da imagem.

Segundo (WOLF, 1983) o processo de retificação pode ser definido como um processo de reamostragem de uma imagem digital para uma nova imagem, esta nova imagem tendo o intuito de ser uma imagem totalmente vertical. A retificação tem como objetivo retirar distorções causadas pela inclinação das tomadas das fotos por um VANT no momento do voo, porém este processo considera a altitude de todo relevo como constante devido a isto distorções ocasionadas pela altitude do relevo não são retiradas. Para minimizar as distorções causadas pela altitude do relevo deve ser empregado o processo de ortorretificação, que não será entrada em detalhes devido ao não se adequar aos estudos deste trabalho.

Para realização do processo de retificação é necessário primeiramente ter em mãos os dados de parâmetros de orientação exterior para realização dos cálculos destes parâmetros. Estes dados de parâmetros de orientação e cálculos permitem recuperar a latitude, longitude e altitude de cada imagem segundo um ponto de apoio no globo terrestre (OLIVAS; ANDRADE, 1980).

Para entender o cálculo realizado sobre os dados de parâmetros de orientação exterior, inicialmente é necessário entender características do terreno onde foi realizado o voo com o VANT. Depois de se conhecer detalhes desse ambiente podemos utilizar uma referência sobre tal para então poder determinar três coordenadas conhecidas X_0 , Y_0 , Z_0 , que são coordenadas referentes ao momento exato de onde as imagens foram retiradas pela câmera do VANT, de modo específico podemos caracterizar estas coordenadas como o centro perspectivo das imagens tomadas (como o VANT enxergou essas imagens e o local onde elas se localizam perante ao VANT). Ainda pode-se determinar três ângulos importantíssimos ω , ϕ e κ (ω , ϕ e κ , respectivamente) que são ângulos referentes a altitude da câmera no instante da tomada da foto e representam parâmetros de orientação sobre a latitude, longitude e altitude respectivamente (eixos de inclinação, rotação e translação do VANT na tomada das imagens).

Para realizar o cálculo dos parâmetros de orientação exterior faz-se necessário aplicar algum modelo matemático, neste presente trabalho para realização deste cálculo foi adotado a equação de colinearidade. A equação de colinearidade é uma fórmula que tem o intuito de que os três parâmetros a seguir estejam em uma reta (LUGNANI, 1987):

- Perspectiva de como a foto é tirada pelo VANT;
- Imagem digital (ponto imagem);
- Imagem de como é relativa ao terreno de onde foi tomada (ponto objeto);

Desta forma todos esses três parâmetros sendo encontrados em uma mesma reta torna o princípio de colinearidade válido.

A equação de Colinearidade indireta é representada por (LUGNANI, 1987), como:

$$\bullet \quad x = -f \frac{(R_{11}(X-X_0) + R_{12}(Y-Y_0) + R_{13}(Z-Z_0))}{(R_{31}(X-X_0) + R_{32}(Y-Y_0) + R_{33}(Z-Z_0))}$$

$$\bullet \quad y = -f \frac{(R_{21}(X-X_0) + R_{22}(Y-Y_0) + R_{23}(Z-Z_0))}{(R_{31}(X-X_0) + R_{32}(Y-Y_0) + R_{33}(Z-Z_0))}$$

Onde:

- f é a distância focal da câmera;

- R11, R12, R13, R21, R22, R23, R31, R32, R33, valores da matriz que será responsável por tornar a imagem de entrada verdadeiramente vertical, rotacionando tal através dos ângulos omega, phi e kappa (ω , ϕ e κ);
- X, Y, Z referentes a latitude, longitude e altitude do terreno;
- X0, Y0, Z0 referentes a latitude, longitude e altitude do terreno no momento em que VANT fez a tomada da imagem;
- Por fim x e y referentes a coordenadas (coluna, linha) dos pixels da imagem retificada ou refinada.

A matriz R, responsável por rotacionar uma imagem para tirar futuras distorções é mostrada na Figura 5:

$$R = \begin{bmatrix} \cos\phi\cos\kappa & -\cos\phi\sin\kappa & \sin\phi \\ \cos\omega\sin\kappa + \sin\omega\sin\phi\cos\kappa & \cos\omega\cos\kappa - \sin\omega\sin\phi\sin\kappa & -\sin\omega\cos\phi \\ \sin\omega\sin\kappa - \cos\omega\sin\phi\cos\kappa & \sin\omega\cos\kappa + \cos\omega\sin\phi\sin\kappa & \cos\omega\cos\phi \end{bmatrix}$$

Figura 5 – Matriz de rotação. Adaptado de (LUGNANI, 1987).

A Figura 6 apresenta o princípio da equação de colinearidade:

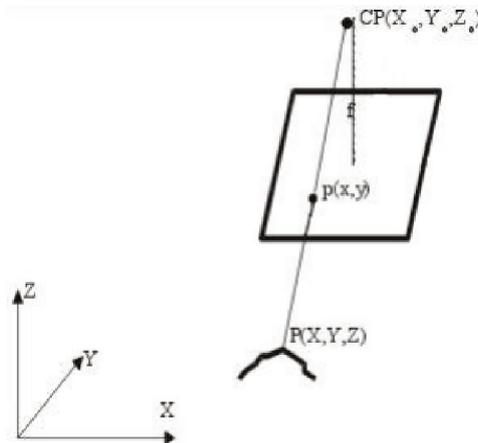


Figura 6 – Princípio de Colinearidade. Fonte: (LUGNANI, 1987).

Onde:

- CP sendo o centro perspectivo;
- P o ponto objeto;
- p sendo o ponto imagem, todos pontos colineares, todos na mesma resta.

Logo depois de ter os dados refinados: x e y referentes aos valores dos pixels (coluna, linha) refinados da imagem original, para se ter a imagem retificada é necessário reamostrar estes pixels em um nova imagem, para isso é necessário retransmitir esses dados, ou de forma técnica podemos chamar este passo de reamostragem.

Faz-se necessário a utilização de uma imagem vazia (imagem em branco), ou seja, é necessário utilizar uma imagem que seu tamanho consiga cobrir toda a área do voo e que contenha os valores de todos os pixels em branco (coordenada R, G, B possuindo valores 255,255,255, respectivamente).

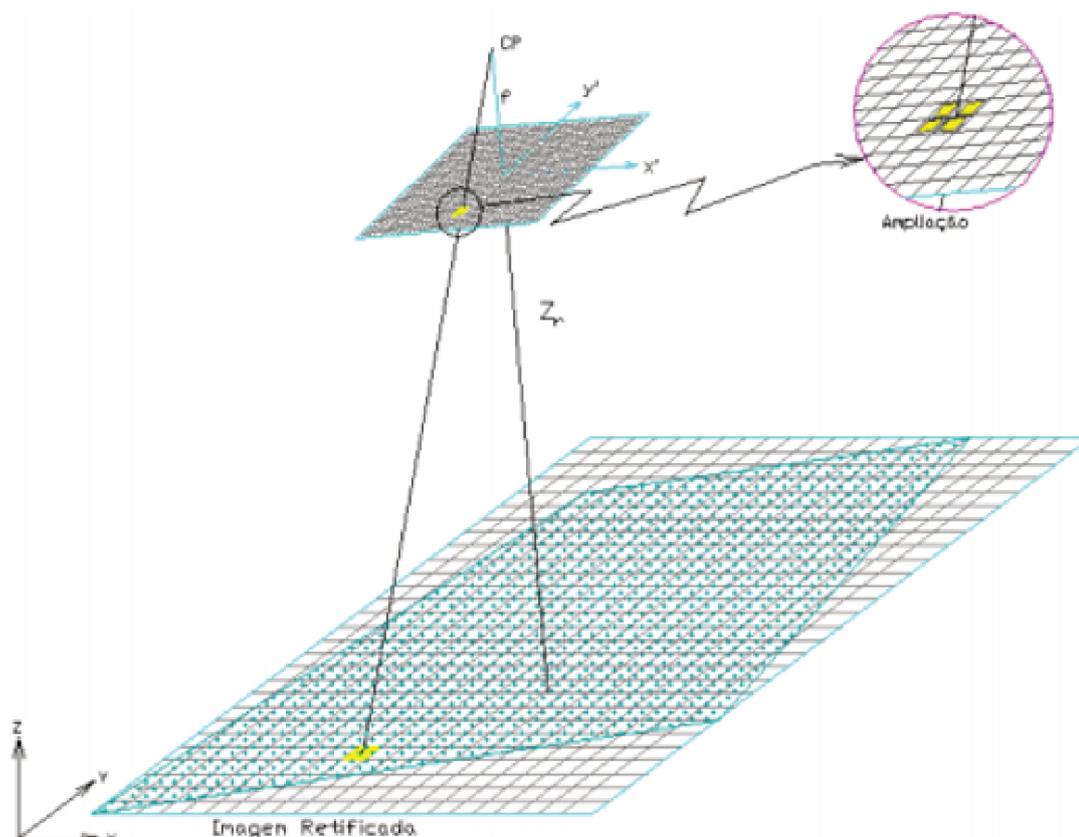


Figura 7 – Modelo de geração de imagem retificada. Fonte: (LUGNANI, 1987).

Existem dois métodos que podem ser aplicados no passo de retificação:

- Método direto que aplica correções dos erros da imagem original através da equação de colinearidade, entretanto este presente trabalho não irá entrar em detalhes sobre este método, devido a não ser empregado para o desenvolvimento.
- Método indireto: este método consiste em corrigir as distorções causadas pela inclinação das tomadas das fotos. Este método é composto por três fases:
 - Transformação dos pixels da imagem digital retificada para a localização de como a imagem é no terreno;

- Transformação de como a imagem é no terreno para uma nova imagem digital;
- Reamostrar esses novos pixels para uma nova imagem.

3.4 Veículo Aéreo Não Tripulado

O Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) pode ser definido como pequenas aeronaves aptas a realizar inúmeras funções desde que não tenha contato físico direto entre a plataforma de obtenção e o alvo. As aeronaves não necessitam de qualquer piloto embarcado, sendo controladas através de meios eletrônicos e computacionais a determinadas distâncias (MEDEIROS et al., 2007).

Popularmente é conhecido como “drone” (zangão, em inglês), mas de acordo com a Agência Nacional de Aviação Civil – (ANAC), (2017), o termo a ser utilizado para melhor distinguir suas categorias e finalidades são “aeromodelo” para toda aeronave não tripulada com objetivo de recreação, e “aeronave remotamente pilotada (RPA, do inglês Remotely Piloted Aircraft) ou “veículo aéreo não tripulado (VANT)” para aeronaves não tripuladas com propósitos comercial, corporativa e experimental, esta se divide em categorias de acordo com o peso máximo de decolagem do equipamento demonstrado na Tabela 1.

Devido a questões de segurança as operações de aeronaves remotamente pilotadas em que o piloto remoto é incapaz de intervir é expressamente proibida no Brasil, conforme a legislação proposta pela ANAC, determinando ainda uma altura mínima de 30 metros de voo e uma idade mínima de dezoito anos para operar tais plataformas. A fiscalização é feita através dos órgãos públicos e por meio de denúncias, e em casos de infrações são tratadas por estes órgãos como contravenção penal ou crime, desde que apuradas administrativamente de acordo com as penalidades pressupostas no Código Brasileiro de Aeronáutica

As primeiras aplicações dos VANTs no país ocorreram na década de 80, mas foi na década seguinte que houve um maior desenvolvimento desta tecnologia. A utilização dessas plataformas aéreas ampliou-se progressivamente desde então, e por ser uma área que se tornou bastante explorada várias pesquisas e trabalhos vieram a surgir criando uma grande variedade de aplicações. (MEDEIROS et al., 2007), aponta alguns estudos nessa área, bem como atividades empregadas em práticas civis, inspeções de linhas de transmissão de energia, monitoramento e acompanhamento de atividades ambientais e agrícolas.

A ANAC criou regras para as operações civis de VANTs. Segundo a ANAC os VANTs perante as leis podem ser classificados em duas subcategorias:

- aeronaves não tripuladas remotamente pilotadas usadas para recreação e lazer e as aeronaves remotamente pilotadas;

- aeronaves remotamente pilotadas (RPA): aeronaves não tripuladas utilizadas para fins experimentais, comerciais ou institucionais.

Essas duas subcategorias perante a lei da ANAC só podem ser operadas em áreas com no mínimo 30 metros horizontais de distância das pessoas não envolvidas no voo e cada piloto remoto só pode operar um VANT por vez. Para operação de um VANT, os requisitos mínimos das normas da ANAC são bastante simples, tolerando a distância limite de terceiros e obedecendo as regras da ANATEL como: não sobrevoar em locais com postes de eletricidade ou locais proibidos, entre outras normas estabelecidas pela ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) . VANTs com peso máximo de decolagem de até 250 gramas não precisam ser cadastrados junto a ANAC e VANTs operados acima de 400 pés da linha do solo devem ser cadastrados e os pilotos de tais devem possuir licença e habilitação de voo.

Os levantamentos realizados por VANTs possuem maior flexibilidade em relação as aeronaves tradicionais. As imagens adquiridas geralmente possuem uma resolução espacial de centímetros e não sofrem com a cobertura de nuvens, logo, ainda se sobressai devido ao baixo custo.

Na agricultura tem sido bastante vantajoso, tornando cada vez mais prático os serviços agrícolas devido ao mapeamento detalhado da área de produção e uma maior eficiência no manejo da agricultura. Também é válido ressaltar outros benefícios que favorecem um bom desempenho agrícola, tal como o auxílio no reconhecimento de pragas e doenças, balanço nutricional, deriva de agrotóxicos, estresse hídrico e falhas de plantio.

Classes	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Peso Máximo de Decolagem	Acima de 150	Entre 25 e 150	Abaixo ou Igual a 25

Tabela 1 – Categoria dos Veículos Aéreos Não Tripulados. Fonte: ANAC, (2017).

3.5 Planejamento de Voo

No voo fotogramétrico, planejar é uma etapa necessária para determinar os parâmetros a serem utilizados, visando aspectos econômicos e apoiando a equipe em campo com agilidade e clareza. Os critérios do projeto, bem como a escala da foto, a escala do mapa, a precisão desejada e o tipo de instrumentos a serem utilizados são especificados previamente.

O plano de voo consiste na escolha dos recursos adequados disponíveis para desempenhar o aerolevanteamento, preparando o mapa de voo e todas as especificações que irão orientar a equipe durante a cobertura aérea. Segundo (GONÇALVES; MITISHITA, 2013), os elementos básicos para a realização do voo são a altura de voo acima de uma

determinada superfície de referência, geralmente a do nível médio do mar, a distância entre duas fotos tomadas sucessivamente e o espaçamento no terreno entre as linhas de voo. Outra condição importante é a sobreposição das imagens, sendo fundamental a obtenção de no mínimo duas fotografias e que sejam tomadas de ângulos diferentes.

De acordo com (BRITO; COELHO, 2002), as linhas de voo são planejadas com uma área de superposição longitudinal de 60% entre as fotografias, enquanto que, a área de superposição lateral entre duas faixas deve possuir o recobrimento de 30% (Figura 8), com o propósito de viabilizar a visão estereoscópica e possibilitar maiores precisões na restituição tridimensional do espaço-objeto, evitando assim falhas (espaços vazios) entre fotografias sucessivas ou adjacentes.

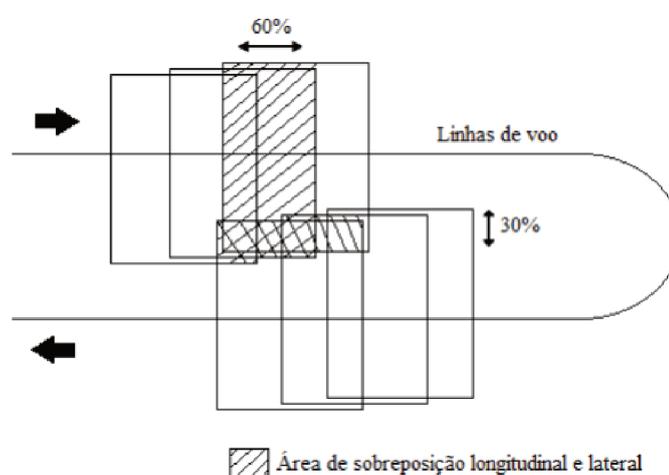


Figura 8 – Bloco formado pelas linhas de voo e a sobreposição longitudinal e lateral. Fonte: (TOMMASELLI, 2009).

Para (BRITO; COELHO, 2002), outro fator importante na determinação do plano de voo é a distância focal e a abertura da câmera, depende do terreno.

Do mesmo modo, consiste da razão entre a distância medida do mapa e a do terreno. Neste sentido, a escala deve seguir o aspecto técnico para determinar a resolução da fotografia, visto que, quanto maior a escala melhor será a resolução, e o aspecto econômico indicando que quanto menor for a escala da fotografia maior será o terreno a ser recoberto e menos fotografias serão necessárias para cobrir a mesma área.

Há outro fator bastante importante a ser destacado referente ao levantamento de voo, como será realizado o georreferenciamento das imagens, este processo importantíssimo, consiste em adicionar informações de latitude, longitude, altitude, e demais informações referentes ao conjunto de imagens tiradas pelo VANT (pode se encaixar os dados referentes a omega, phi e kappa). O georreferenciamento pode ser feito de maneiras diferentes e com mais ou menos informações, podem ser realizados uso de pontos de apoio, processamento inicial de alinhamento de imagens ou não ser realizado sequer

nenhum processamento, método que não é recomendado em campo.

Para finalizar é necessário que se conheça as dimensões da área a ser recoberta, e assim determinar o restante dos parâmetros do plano de voo, dentre eles o cálculo das quantidades de linhas de voo, o número total de fotos, o intervalo de tempo entre as fotografias e o tempo total que será gasto para realizar todo o voo. Existem ainda algumas características essenciais quanto a equipamento

3.6 Visão Computacional

Visão computacional extrai informação numa imagem (MCINERNEY; TERZOPOULOS, 1996). Visão computacional e processamento de imagens se diferenciam no que se refere a sua proposta. Processamento de imagem gera uma imagem a partir de outra e visão computacional extrai e manipula dados de uma imagem para diferentes propósitos.

Para o reconhecimento de imagens é necessária uma boa bagagem de conhecimentos sobre o mundo e uma boa capacidade de discernimento para gerar conclusões e tomar decisões adequadas tendo por base dados extraídos de uma imagem.

Pode-se citar como exemplo, a extração de informações sobre os objetos em uma determinada imagem para classificação de dados particulares (e.g. Uma imagem que contém uma parte de uma cidade, classificar o que pode ser árvores no meio de construções), visando isto cada cenário é um cenário, e cada solução depende do que se pretende, mas extrair informações é um ponto chave para soluções de possíveis problemas.

Como a visão computacional é um campo vasto, ela vai muito além de informática e robótica, abrangendo também qualquer área que se precise utilizar a visão para extrair informações e trabalhar com o que foi extraído. Neste presente trabalho podemos utilizá-la para obter dados geométricos de cada imagem na área da fotogrametria.

3.6.1 Visão estereoscópica

Sendo um encaixe de uma subcategoria importantíssima da Visão Computacional, a Visão Estereoscópica é de fundamental importância para o entendimento deste trabalho.

De forma geral, a visão estereoscópica computacional é a extração de dados 3D de uma imagem digital. Essa técnica consiste na manipulação de várias imagens de ângulos diferentes de um mesmo objeto, e a partir de tal obter uma representação tridimensional. Esse processo funciona da mesma forma que a estereopsia nos animais, que percebem profundidade combinando imagens de que ambos os olhos enxergam (MCINERNEY; TERZOPOULOS, 1996).

Da mesma forma que funciona a visão humana, o processo consiste no uso de duas câmeras posicionadas uma do lado da outra para captura de imagens diferentes do objeto.

Por serem geradas duas imagens diferentes, diferentes pontos do mesmo objeto estarão em diferentes posições a partir do ponto de observação. A diferença dos pontos do objeto de cada uma das imagens gera o modelo tridimensional do objeto com algumas distorções, que, para removê-las é necessário identificar qual ponto em uma imagem corresponde à projeção do mesmo ponto na outra imagem (RUSSELL; NORVIG, 2010).

3.7 Mosaicagem

Segundo (WOLF; DEWITT, 2000), a mosaicagem é o nome dado a técnica de junção homologa de duas ou mais imagens e podem ser construídos quando uma única imagem não consegue cobrir toda uma área. A finalidade de um mosaico é dar apoio a estudos particulares de áreas pré-determinadas (e.g. em uma área urbana identificar quantidades de prédios, em uma área rural identificar falhas de plantio). Um dos métodos mais simples de mosaicagem é o método do vizinho mais próximo e pode ser visto com maiores detalhes na Seção 3.2. Nos últimos anos os mosaicos vem sendo construídos através de imagens digitais, essas que podem ser obtidas provindas de voos aéreos realizados por um VANT.

Os mosaicos podem ser divididos em três classes:

- Mosaico controlado: Construído por meio da retificação de imagens e método específico de mosaicagem;
- Mosaico semi controlado: Construído através da não aplicação do processo de retificação de imagens, mas pode possuir o uso de pontos de apoio em solo no momento de voo para determinar os parâmetros de orientação exterior e interior, utilizando algum método específico de mosaicagem;
- Mosaico não controlado: Pode ser construído através da não aplicação do processo de retificação de imagens e não uso de pontos de apoio, utilizando apenas algum método de mosaicagem para encaixe de suas imagens;

3.8 Transformações geométricas

Quando se deseja realizar trabalhos computacionais com imagens digitais localizadas em algum ponto do globo terrestre não pode ser deixado de lado transformações afins, estas transformações quando aplicadas em imagens que se localizam em algum ponto do planeta terra são chamadas de transformações geométricas e são transformações essenciais para a aplicação da Fotogrametria (SCHENK, 1999). Algumas aplicações dessas transformações podem ser citadas abaixo:

-
- Retirar distorções em imagens causadas por deslocamentos de orientação, rotação ou translação do VANT no momento da tomada de alguma foto;
 - Retirar distorções em imagens causadas por altitudes de relevo.

4 Materiais e Métodos

4.1 Materiais utilizados

Os recursos utilizados neste trabalho de pesquisa foram basicamente:



Figura 9 – DJI phantom 3 standard - Drone Utilizado para extração dos dados. Fonte: (PHANTOM, 2018)

- 01 microcomputador Intel(R) Core(TM) i5-3337U CPU @1.80 GHz, 6 GB de memória RAM, 500 Gb de disco rígido;
- Drone - DJI phantom 3 standard, acoplado juntamente com uma câmera do fabricante capaz de tirar fotos em Full-HD e 4K de resolução, sensor de unidade de Medição de Inércia (IMU), e um sensor de GPS ;
- Imagens digitais, com seus respectivos dados de parâmetros de orientação exterior;
- Ambiente de implementação Python 3.6;
- Softwares de edição de texto e manipulação de imagens.
- Software de retificação através do método indireto e Mosaicagem de imagens, implementado neste trabalho em linguagem Python pelo próprio autor.

4.2 Parâmetros de orientação

Quando é realizado um voo utilizando-se um VANT existem alguns parâmetros importantes para serem obtidos e analisados que são empregados durante o processo de retificação de imagens. Esses parâmetros são denominados como parâmetros de orientação

e como propriamente o nome diz esses tipos de parâmetros são responsáveis por determinar a orientação de algo no planeta Terra e podem ser divididos em duas subcategorias:

- Parâmetros de orientação exterior – são parâmetros obtidos através de um sensor GPS (do inglês Global Positioning System que em português significa “Sistema de Posicionamento Global”) acoplado ao VANT, este sensor permite através de uma comunicação via satélite determinar a posição pelas coordenadas de latitude, longitude e altitude de um determinado objeto no globo terrestre, desta forma este sensor acoplado ao VANT permite determinar sua posição, assim determinando também a posição de determinada imagem no momento exato da tomada da foto. Estes parâmetros podem ser obtidos através deste sensor com uso de pontos de apoio na área em que se deseja mapear, ficando mais preciso a determinação da localização do VANT perante ao globo terrestre pelas coordenadas horizontais e verticais de pontos a superfície da Terra. Estes parâmetros também podem ser obtidos em um ambiente computacional com dados com processamento inicial, ou seja, seria um alinhamento de uma imagem no momento da tomada da foto com a correspondência de como esta imagem é representada no globo.
- Parâmetros de orientação interior – são parâmetros obtidos através de um sensor IMU (do inglês Inertial Measurement Unit que em português significa “Unidade de medida Inercial”) acoplado ao VANT, este sensor permite determinar os ângulos de rotação, translação e rotação perante a tomadas das fotos pelo VANT. Esses parâmetros também se dizem respeitos aos parâmetros de calibração da câmera: distância focal, tamanho do pixel referente as imagens tomadas e distância de amostragem do solo.

Contudo estes parâmetros citados acima nesta secção é de suma importância para este desenvolvimento deste trabalho, devido a serem parâmetros essenciais para a realização da retificação para se minimizar possíveis distorções causadas pelo deslocamento causado pela inclinação das imagens no momento da tomadas das fotos. Ressaltando que este trabalho não tenta realizar as distorções causadas pelo relevo.

4.3 Metodologia para retificação de imagens

A retificação de imagens foi realizada baseada na fundamentação teórica abordada no Capítulo de Retificação digital de imagens, na secção 3.3, o fluxograma da Figura 10 mostra as etapas de retificação incluindo os métodos direto e indireto. O método direto é mostrado apenas a título de conhecimento, visto que neste trabalho foi apenas realizada a retificação pelo método indireto.

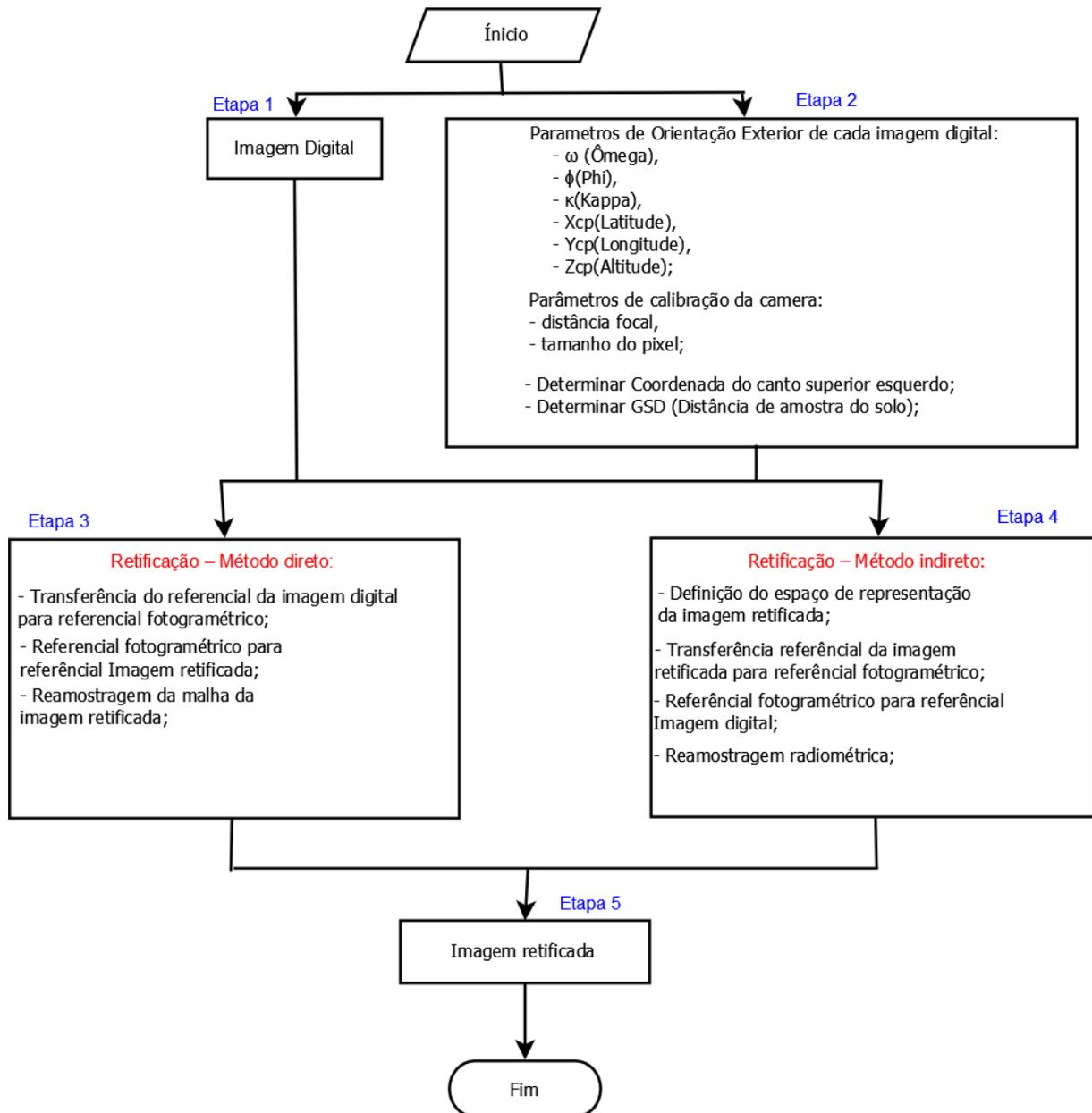


Figura 10 – Etapas da retificação. Fonte: (HASEGAWA; ARRUDA, 2004).

Através da Figura 10 é possível ver a 5 etapas distintas até se chegar a uma imagem digital retificada, abaixo cada etapa dessa Figura 10 é explicada de maneira detalhada:

- Etapa 1 - Para se iniciar o processo de retificação seja pelo método direto ou indireto inicialmente se faz necessário o recebimento de cada imagem digital a ser retificada;
- Etapa 2 - Logo depois é necessário determinar os parâmetros de Orientação exterior de cada imagem digital com seus respectivos dados: parâmetros de rotação, ω (Ômega, translação), ϕ (Phi, rotação) e κ (Kappa, inclinação) que são dados através da unidade de medida inercial acoplada ao drone; os parâmetros de calibração da câ-

mera, distância focal calibrada e tamanho do pixel; e predeterminação da distância de amostra do solo (do inglês, Ground Sample Distance, GSD);

- Etapa 3 – Na retificação pelo método direto, é realizado o processo de retificação de uma imagem digital entretanto a equação de colinearidade deste método é dada de uma forma inversa (não será detalhado o uso dessa equação de colinearidade de forma inversa devido ao desenvolvimento do trabalho não utilizar este processo de retificação) e não é abordado o espaço necessário total das imagens;
- Etapa 4 – Na retificação pelo método indireto inicialmente se faz necessário ter a coordenada de canto superior esquerda, que é uma coordenada para determinar todo o espaço de onde as imagens foram tomadas no plano terrestre, logo mais aplica-se o processo de retificação de imagens utilizando a equação de colinearidade, melhores detalhes podem ser vistos na seção 3.3, por fim tanto o método indireto como indireto tem como produto final uma imagem digital retificada;
- Etapa 5 – O produto final desta metodologia é uma imagem retificada que tem por características ser uma imagem verdadeiramente vertical e uma imagem que tem por características estar livre de distorções causadas pelos eixos de inclinação, devido a equação de colinearidade tentar tratar esses aspectos.

4.4 Mosaicagem geométrica baseado no método indireto

A mosaicagem geométrica pode ser denominada como uma técnica de união de imagens baseada na união de imagens retificadas utilizando transformações geométricas afim. Para a técnica de mosaicagem geométrica inicialmente deve-se ter todas as imagens retificadas, logo mais faz-se necessário pontos possíveis de conexões entre essas imagens retificadas.

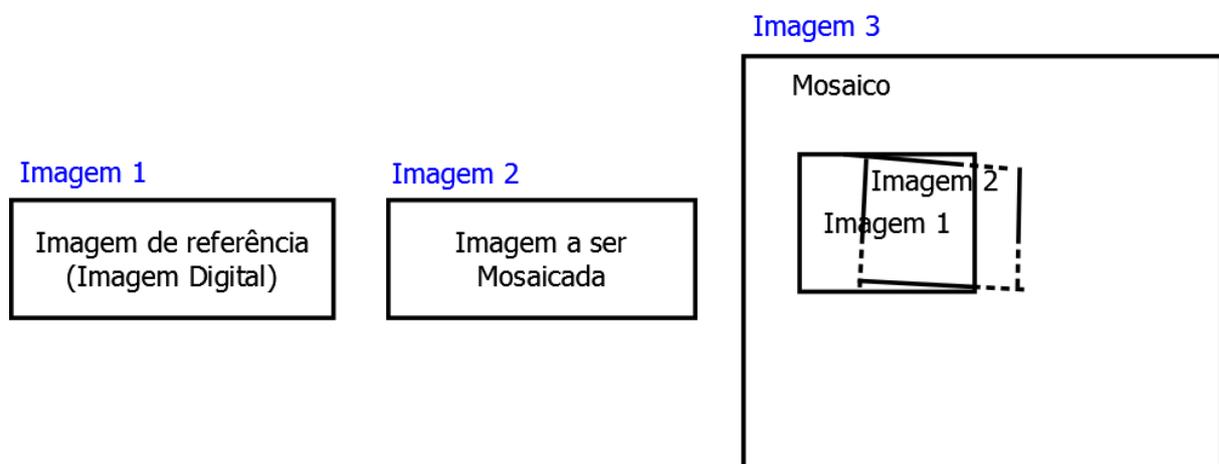


Figura 11 – Mosaicagem geométrica. Adaptado de: (HASEGAWA; ARRUDA, 2004).

A metodologia utilizada no trabalho baseou-se para conexões entre as imagens os valores dos pixels respectivos de cada imagem (coordenada R, G, B pertence a coluna, linha de cada imagem), onde era realizado uma comparação dos pixels entre a imagem de referência (imagem já contida no mosaico parcial) e a imagem a ser inserida, assim onde houver valores de pixels iguais na imagem final na (coluna, linha) com a mesma (coluna, linha) da imagem a ser mosaicada não seria feito nada prosseguiria o processo até achar valores distintos entre os pixels da imagem de referência e a imagem a ser mosaicada, utilizando a reamostragem pelo método do vizinho mais próximo. A figura 11 demonstra melhor a técnica de mosaicagem geométrica e o fluxograma da Figura 12 detalha melhor esse procedimento.

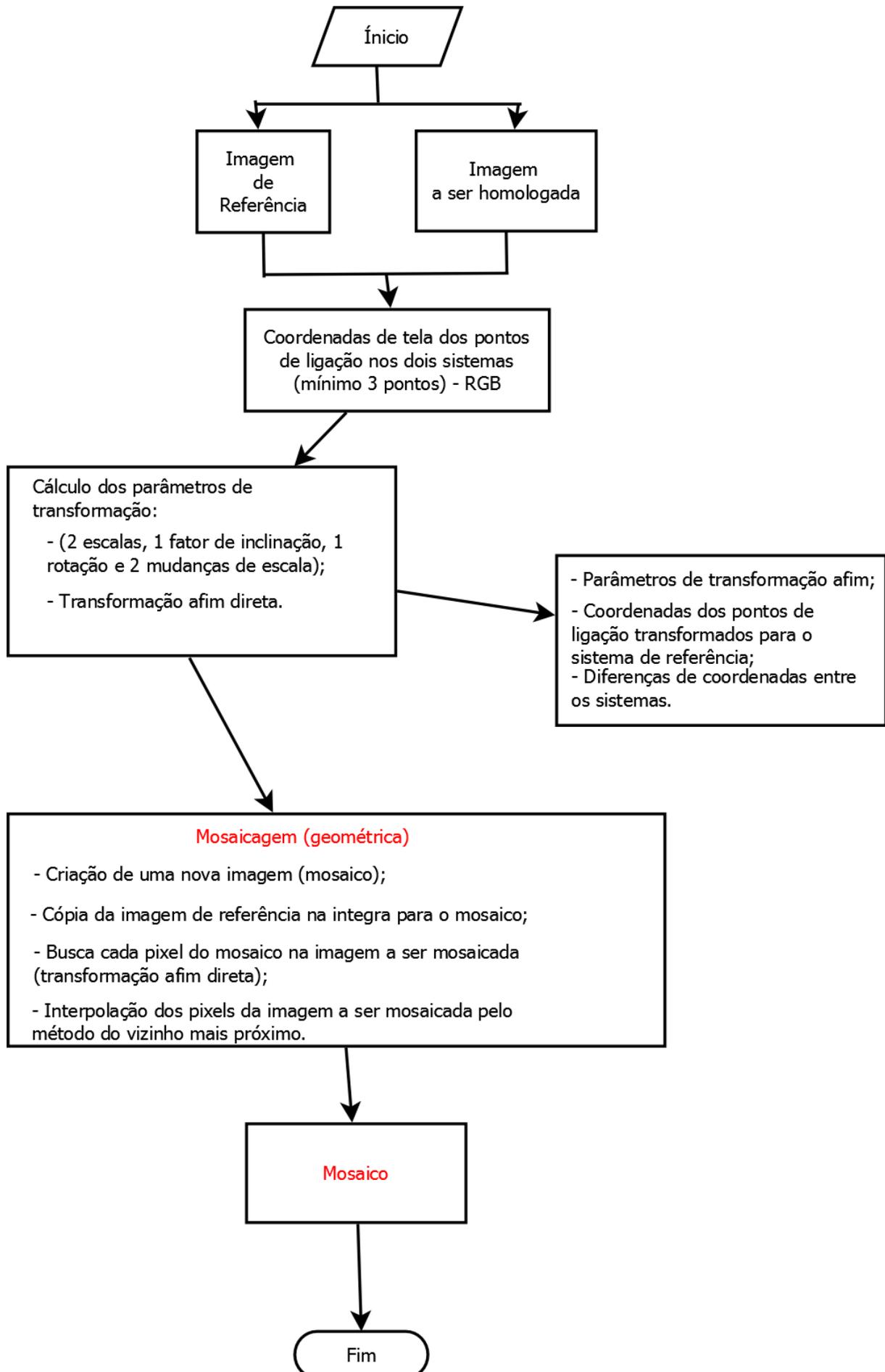


Figura 12 – Etapas da mosaicagem. Fonte: (HASEGAWA; ARRUDA, 2004).

5 Resultados

Através da metodologia de mosaicagem geométrica baseado no método indireto foi possível obter como resultado três mosaicos de três áreas. Maiores detalhes podem ser vistos no item 4. Para a obtenção dos três mosaicos fez-se necessário inicialmente a obtenção dos seguintes dados utilizando-se o VANT DJI phantom 3 standard:

- Imagens Digitais:
 - O primeiro mosaico construído através de um total de 81 imagens, onde o voo foi realizado sobre uma área de construção civil (casa);
 - O segundo mosaico construído através de um total de 111 imagens, onde o voo foi realizado sobre uma área onde se havia uma chácara;
 - O terceiro mosaico construído através de um total de 176 imagens, onde o voo foi realizado sobre uma área de região agrícola;
- Parâmetros de orientação exterior respectivos a cada imagem digital;
- Parâmetros de calibração da câmera.

Logo depois cada imagem passou pelo processo de retificação baseado no método indireto (tanto as imagens referentes do primeiro, do segundo e terceiro mosaico).

Com a obtenção das imagens retificadas, foi por fim aplicada a técnica de mosaicagem geométrica, ou seja, foi realizado um processo de concatenação entre imagens, para produção final do mosaico.

Para entender melhor como se chegou ao resultado esperado foi realizado um diagrama de atividades do software. Um diagrama de atividades é essencialmente um gráfico de fluxo, que mostra basicamente o fluxo de controle de uma atividade para outra para realizar a modelagem de aspectos dinâmicos do software desenvolvido. Na maior parte, isso envolve a modelagem das etapas sequenciais em um processo computacional.

A Figura 13 demonstra o diagrama de atividades quanto as funcionalidades requeridas para se chegar ao produto final: o mosaico.

5.1 Cenário 1 - Uso de pontos de apoio

O primeiro mosaico construído através do desenvolvimento do software, teve todos seus dados de entrada completamente processados (georreferenciados), ou seja, tiveram

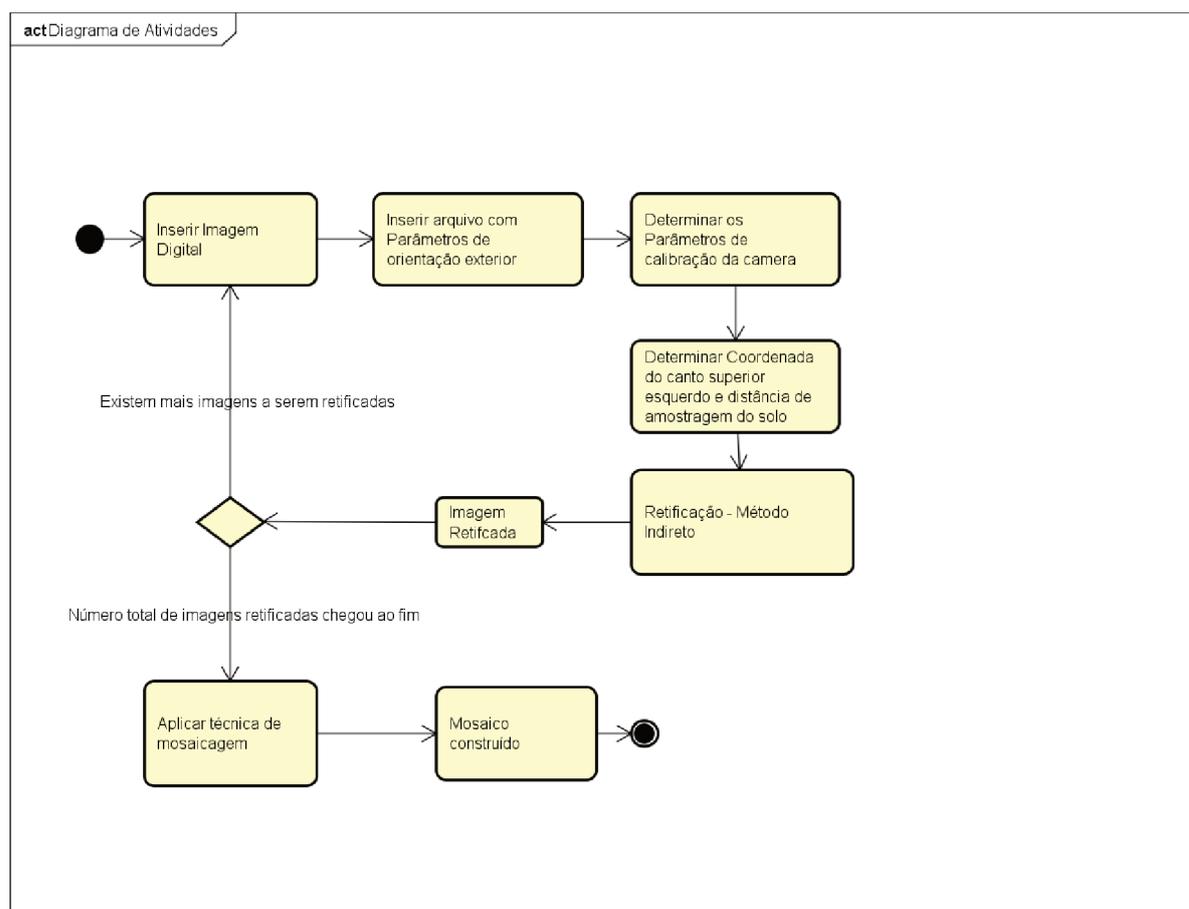


Figura 13 – Diagrama de atividades mostrando o passo do software para chegar ao produto final, Fonte: Própria (2018).

uso de coordenadas dos pontos de apoio, essas coordenadas influenciam diretamente o resultado do seu produto, pois é a partir delas que é feita a fototriangulação. A fototriangulação nada mais é que uma técnica de fotogrametria que consiste na determinação das coordenadas horizontais e verticais de pontos à superfície da Terra, a partir de medições efetuadas sobre fotografias aéreas verticais. Para a obtenção dos dados do primeiro mosaico utilizou-se uma coleta de pontos de apoio utilizando um receptor GNSS (Global Navigation Satellite System) em modo pós-processado, este receptor é capaz de coletar dados de uma constelação de satélites, permitindo a localização geográfica de um ponto em qualquer parte do mundo, e engloba os sistemas de navegação atualmente disponíveis. Desta forma o processo de retificação de imagens realizado pelo software, obteve um conjunto de imagens retificadas do local com maior precisão, como pode-se observar na Figura 14, no caso é mostrado apenas os três primeiros conjuntos de imagens retificadas da área sobrevoada para construção do primeiro mosaico:

- Imagem 1, Imagem 2, Imagem 3, referentes as imagens originais;
- Imagem 1 Retificada, Imagem 2 Retificada e Imagem 3 Retificada, referentes as suas

respectivas imagens retificadas.

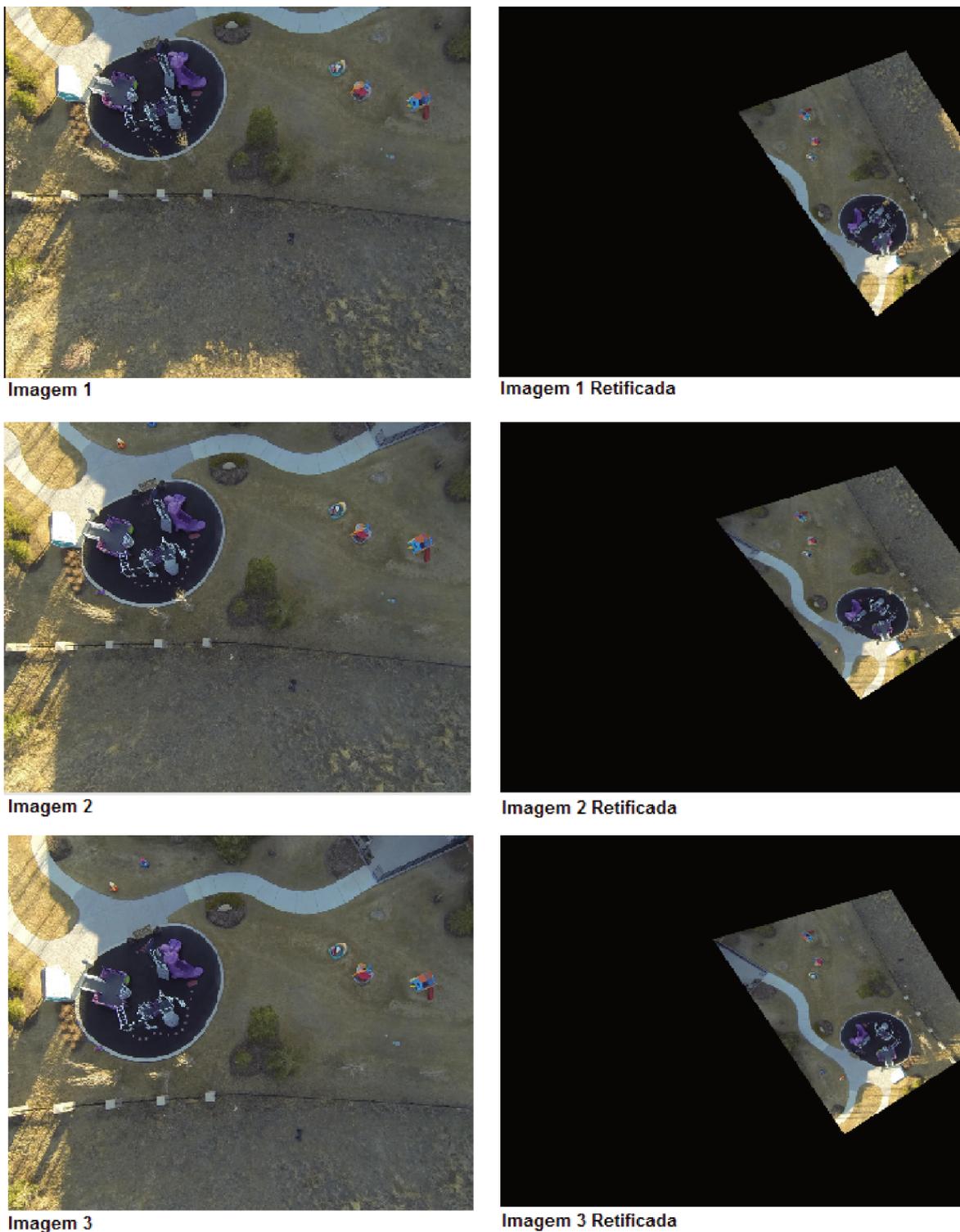


Figura 14 – Imagens originais e suas respectivas retificadas referentes ao primeiro Mosaico a ser construído. Fonte: Própria (2018).

Com maiores detalhes sobre as imagens retificadas, foi então aplicada a técnica de mosaicagem geométrica para a geração do produto final: o mosaico. A Figura 15 mostra

o mosaico final construído, através dele pode-se perceber uma qualidade maior devido ao uso de pontos de apoio.

Lembrando que a retificação de imagens considera apenas a latitude e longitude variantes do sensor GPS durante a realização de seu processamento, a variação da altitude do relevo e dos elementos da superfície dos objetos imageados são descartados, por isso o mosaico final gerado neste cenário mesmo possuindo pontos de apoio possuem algumas distorções devido ao elemento do cenário ser uma casa possuindo edificações e variações do objetos imageado, havendo assim deslocamentos devido ao relevo, que no processo de retificação não é possível minimizar essas distorções de relevo, por isso o mosaico possui algumas deformações em sua geração.



Figura 15 – Mosaico 1 com inclusão de 81 imagens digitais - Produzido através do método indireto. Fonte: Própria (2018).

5.2 Cenário 2 - Nível inicial de processamento



Figura 16 – Imagens originais e suas respectivas retificadas referentes ao segundo Mosaico a ser construído. Fonte: Própria (2018).

O segundo mosaico foi construído através do desenvolvimento do software, teve todos seus dados de entrada inicialmente processados através do método de alinhamento de imagens. Em sentido cartográfico, o conceito de orientação implica na busca de um alinhamento de uma imagem com o correspondente objeto representado. O alinhamento



Figura 17 – Mosaico 2 com inclusão de 111 imagens digitais - Produzido através do método indireto, Fonte: Própria (2018).

compreende operações físicas e matemáticas que situam a imagem paralelamente ao objeto e em uma dada posição tal que haja correspondência geométrica entre as entidades simbólicas (da imagem) e as reais (do objeto).

Desta forma o processo de retificação de imagens realizado pelo software, obteve um conjunto de imagens retificadas do local com uma precisão média, como pode-se ver na Figura 16, no caso é mostrado apenas os três primeiros conjuntos de imagens retificadas da área sobrevoada para construção do segundo mosaico.

Por mais que os dados não sejam acurados (não estejam em sua posição exata), eles são precisos (compatíveis entre si). Isso faz com que os resultados sejam satisfatórios, mesmo não considerando a variação de altura dos elementos da superfície o mosaico final

deste cenário apresentar ter um resultado final melhor do que com a geração do mosaico que foi utilizado o uso de pontos de apoio, entretanto é importante notar que os elementos da imagem não possuem variações especificamente altas como o do mosaico da seção 5.1 assim o encaixe das imagens na etapa de mosaicagem é mais satisfatório, entretanto não confunda e pense que o este mosaico está melhor que o do cenário com uso de pontos de apoio, ele apenas contou com a sorte que a área sobrevoada não possuía variações de altitude de relevo.

Com detalhes médios sobre as imagens retificadas, foi então aplicada a técnica de mosaicagem geométrica para a geração do produto final: o mosaico. A Figura 17 mostra o mosaico final construído, através dele pode-se perceber uma qualidade bem a baixa se comparada ao primeiro mosaico, entretanto bem melhor se comparado ao segundo mosaico que será mostrado na próxima seção.

5.3 Cenário 3 - Sem qualquer processamento

O terceiro mosaico construído através do desenvolvimento do software, teve todos seus dados de entrada sem o uso de qualquer processamento. Assim o processo de retificação de imagens realizado pelo software, obteve um conjunto de imagens retificadas do local com menor precisão, como pode-se ver na Figura 18, no caso é mostrado apenas os três primeiros conjuntos de imagens retificadas da área sobrevoada para construção do terceiro mosaico:

Com menores detalhes sobre as imagens retificadas, foi então aplicada a técnica de mosaicagem geométrica para a geração do produto final: o mosaico. A Figura 19 mostra o mosaico final construído, através dele pode-se perceber uma qualidade bem a baixa se comparada ao primeiro mosaico, e é nitido ver que assim as imagens a serem mosaicadas obtiveram algumas inconsistências devido ao não uso de pontos de apoio ou qualquer tipo de processamento.

O resultado ficou ruim devido aos dados estarem sem nenhum tipo de processamento, utilizam posição e altitude do sensor oriundo do receptor GNSS e IMU, respectivamente do VANT. Esses sensores são de baixa qualidade, principalmente em VANTs de baixo custo. Logo torna-se necessário um certo nível de processamento dos dados.

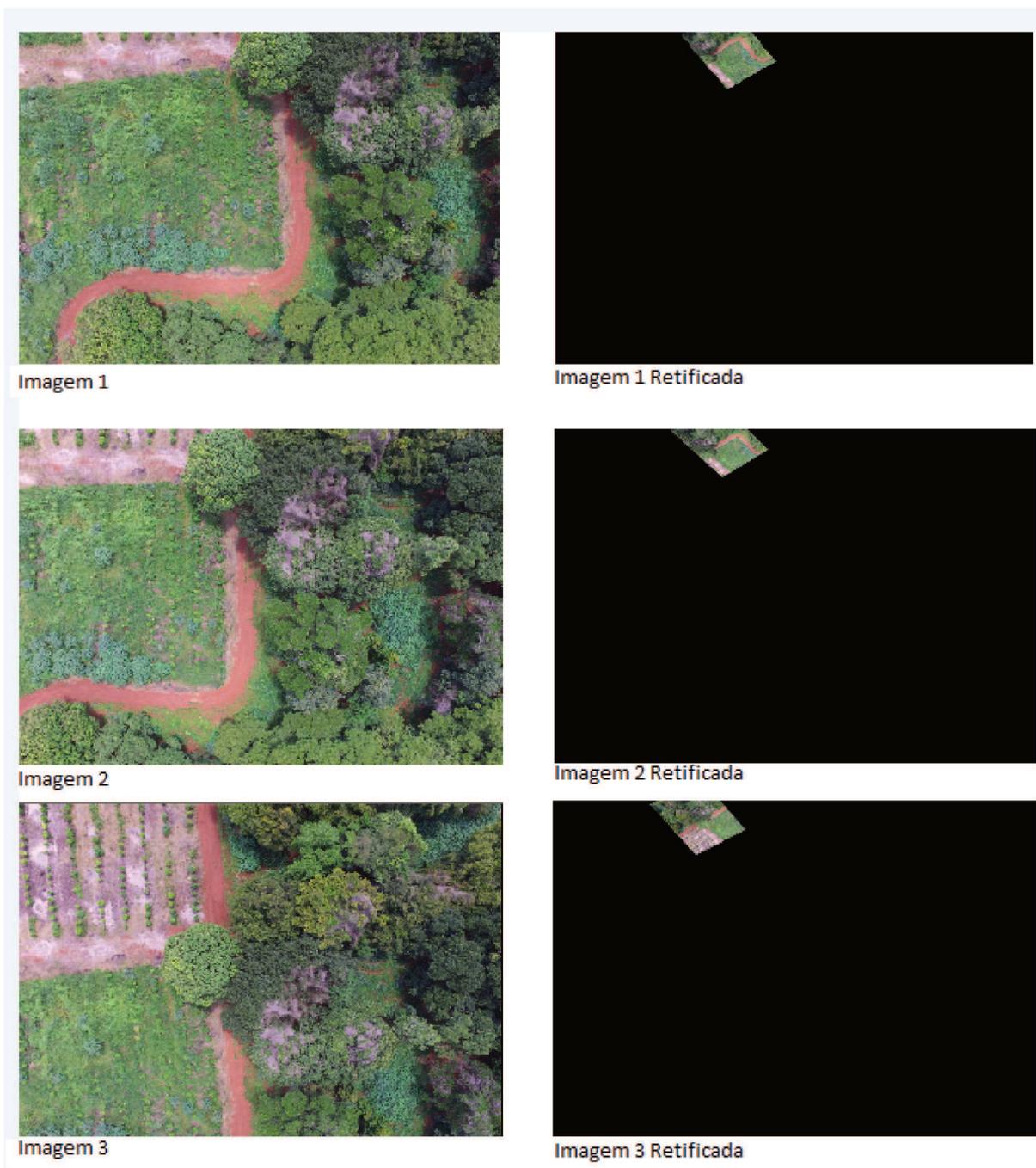


Figura 18 – Imagens originais e suas respectivas retificadas referentes ao terceiro Mosaico a ser construído. Fonte: Própria (2018).

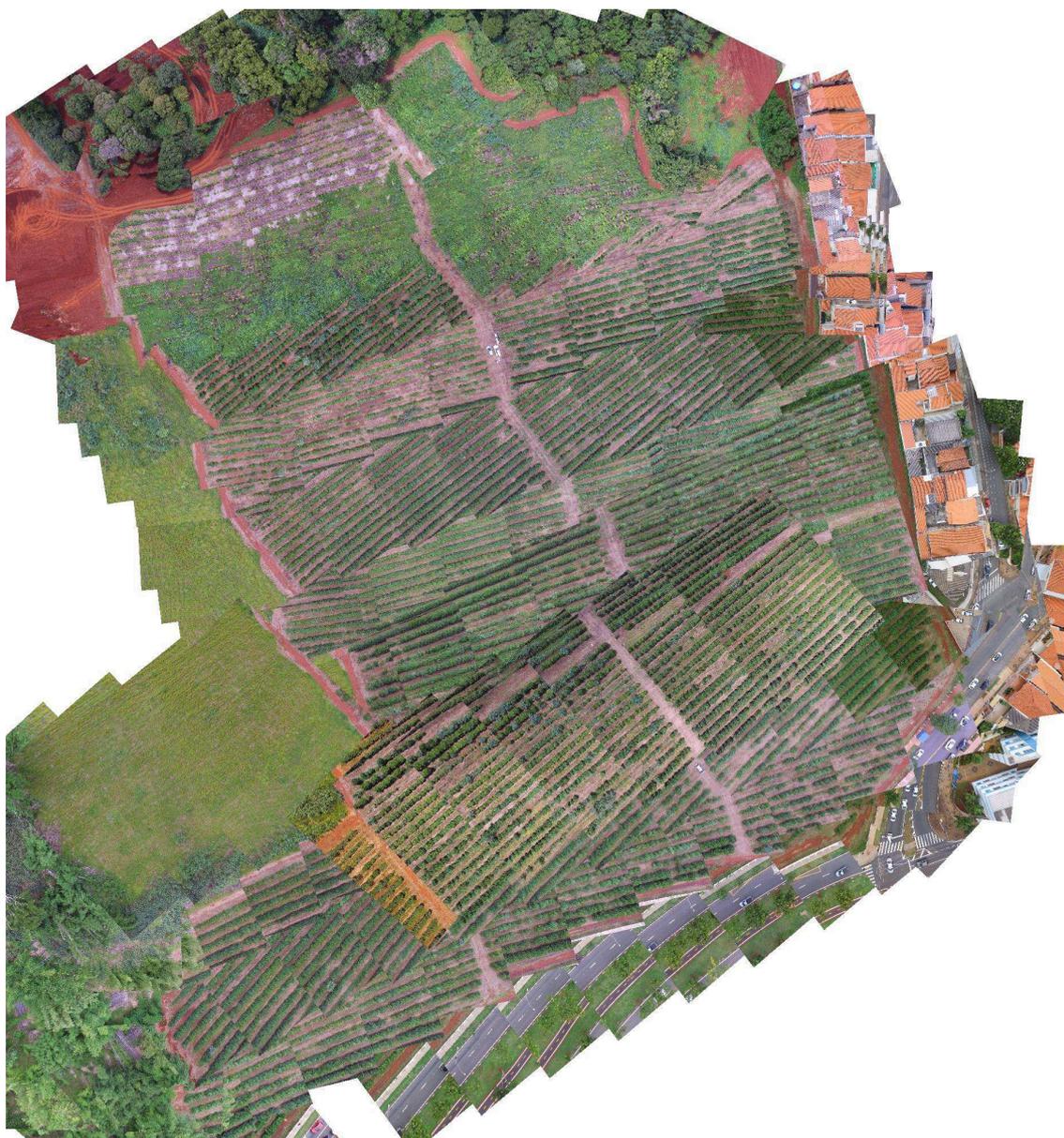


Figura 19 – Mosaico 3 com inclusão de 176 imagens digitais - Produzido através do método indireto. Fonte: Própria (2018).

6 Conclusão

Com tudo, este presente TCC demonstrou a utilidade e flexibilidade do uso de um VANT para aquisição de imagens aéreas com um baixo custo, demonstrando também a possibilidade do desenvolvimento de um software para a construção de um mosaico, este por fim que pode dar apoio a agricultura de precisão, auxiliando nas tomadas de decisões cabíveis de uma determinada área. Através do estudo de alguns trabalhos relacionados pode-se demonstrar as diferenças básicas entre a construção de um mosaico partindo de imagens de satélites e imagens aéreas de VANTs, como suas vantagens e desvantagens de cada método. A partir da fundamentação teórica foi explanado a importância da área da fotogrametria para desenvolvimento deste trabalho, assim como a importância da realização da retificação de imagens digitais para a obtenção de um mosaico. Não considerado de lado a importância de se realizar um planejamento de voo, pois através desta técnica é possível caracterizar os critérios do projeto, bem como a escala do mapa, a precisão desejada e o tipo de instrumentos necessários para se chegar ao produto final.

Como se pode ver existem diferenças nítidas entre as gerações do três mosaicos.

Os três mosaicos foram gerados pelos mesmos métodos: retificação de imagens pelo método indireto e mosaicagem geométrica, entretanto:

- O primeiro mosaico teve uma conclusão mais precisa devido os dados terem sido completamente processados com o uso de apoio;
- O terceiro mosaico gerado, obteve algumas inconsistências, devido não ter qualquer processamento sobre seus dados, obtendo uma conclusão menos precisa, pode-se ver claramente que algumas imagens foram mosaicadas não de forma incorretas mais sim imprecisas devido a não haver nenhum processamento detalhado das imagens;
- O segundo mosaico teve uma geração melhor do que o terceiro, graças ao uso de um processamento inicial baseado no alinhamento de imagens, mas mesmo assim não obteve resultados superiores se comparado ao primeiro mosaico.

Desta forma, fica bem claro que processamento completo utilizando-se pontos de apoio trás uma qualidade final do mosaico acima das médias esperadas, e mostra o quão importante é realizar inicialmente um estudo do projeto, planejar é essencial e mostra o que é necessário para se chegar ao produto final com uma qualidade esperada, demonstrando também que não basta ter o desenvolvimento de um software que satisfaça as necessidades previstas.

O primeiro mosaico gerado foi exatamente o que se esperava aplicando a mosaicagem geométrica pelo método indireto, mas mesmo assim não chegou a ser perfeito, devido

a metodologia empregada estabelecer a altitude do terreno como constante, sendo assim as imagens geradas no processo de retificação não estão livres das distorções causadas pelos deslocamentos devido ao relevo, sendo assim futuramente pretende-se minimizar estas distorções através da retificação diferencial (ortorretificação).

Como trabalhos futuros se pretende utilizar a técnica de mosaicagem geométrica juntamente com a técnica radiométrica para se chegar a um mosaico com maiores detalhes, aplicar também anteriormente a técnica de mosaicagem o processo de ortorretificação (retificação diferencial), considerando assim a variação do relevo dos objetos da imagem para assim tentar minimizar as distorções causadas pela altitude de tais, pretende-se também realizar um levantamento de vôo totalmente adequado para a área sobrevoada e utilização de uma câmera melhor, por fim realizar um processamento completo com o uso de pontos de apoios (georreferenciamento preciso), para não ocorrer os mesmos problemas enfrentados com a geração do terceiro mosaico.

Referências

- ALMEIDA, J. F. D. Ortofoto digital. 1989. Citado na página 20.
- BERNARDI, A. C. d. C.; INAMASU, R. Y. Adoção Da Agricultura De Precisão No Brasil. *Agricultura de Precisão: resultados de um novo olhar*, n. 1, p. 559–577, 2014. Citado na página 11.
- BRITO, J.; COELHO, L. *Fotogrametria Digital*. [S.l.: s.n.], 2002. 214 p. ISBN 9788575111147. Citado 3 vezes nas páginas 5, 18 e 26.
- CHON, J.; KIM, H.; LIN, C.-S. Seam-line determination for image mosaicking: A technique minimizing the maximum local mismatch and the global cost. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 65, n. 1, p. 86 – 92, 2010. Citado na página 11.
- FONTANARI, A. A. L. Sistema de planejamento e controle de missão de um veículo aéreo não tripulado aplicado em redes de sensores sem fio. p. 82, 2011. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/37165/000819581.pdf?sequence=1>>. Citado na página 10.
- GONÇALVES, G. A.; MITISHITA, E. A. Uso de dados lidar e fotogrametria digital para produção de cartas de vulnerabilidade à intrusão de águas marinhas. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, João Pessoa-PB, Brasil*, v. 25, 2013. Citado na página 25.
- HASEGAWA, J. K.; ARRUDA, E. R. D. J. Mosaico com imagens digitais. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 10, n. 1, p. 31–50, 2004. Citado 4 vezes nas páginas 5, 32, 33 e 35.
- HELMER, E. H.; RUEFENACHT, B. Cloud-free satellite image mosaics with regression trees and histogram matching. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 71, n. 9, p. 1079–1089, 2005. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 14.
- JORGE, L. A. d. C.; INAMASU, R. y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. *Ferramentas para agricultura de precisão*, p. 109–134, 2013. Citado na página 11.
- KINKARTZ, S. *Crescimento populacional e o desafio da alimentação*. 2011. Disponível em: <<http://www.dw.com/pt-br/crescimento-populacional-e-o-desafio-da-alimenta%C3%A7%C3%A3o/a-15486766>>. Acesso em: 10 Jul. 2017. Citado na página 10.
- LALIBERTE, A. S. et al. Acquisition, orthorectification, and object-based classification of unmanned aerial vehicle (uav) imagery for rangeland monitoring. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, v. 76, n. 6, p. 661–672, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 16.
- LEBOEUF, J. Practical applications of remote sensing technology—an industry perspective. *HortTechnology*, American Society for Horticultural Science, v. 10, n. 3, p. 475–480, 2000. Citado na página 11.

- LELONG, C. C. et al. Assessment of unmanned aerial vehicles imagery for quantitative monitoring of wheat crop in small plots. *Sensors, Molecular Diversity Preservation International*, v. 8, n. 5, p. 3557–3585, 2008. Citado na página 11.
- LUGNANI, J. B. Introdução à fototriangulação. 1987. Citado 4 vezes nas páginas 5, 21, 22 e 23.
- MCINERNEY, T.; TERZOPOULOS, D. Deformable models in medical image analysis: a survey. *Medical image analysis*, v. 1, n. 2, p. 91–108, 1996. ISSN 1361-8415. Citado na página 27.
- MEDEIROS, F. A. et al. Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em agricultura de precisão. Universidade Federal de Santa Maria, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 24.
- OLIVAS, M. A. d. A.; ANDRADE, J. B. d. Calibração de câmaras fotogramétricas: aplicação dos métodos: câmaras convergentes e campos mistos. 1980. Citado na página 21.
- OSHIRO; TADATOMO, O. Geração do mosaico de Moçambique a partir de imagens do satélite Landsat 8 30. n. Figura 1, p. 1–12, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 15.
- PHANTOM. *Phantom 3 tandard*. 2018. Disponível em: <<https://www.dji.com/phantom-3-standard>>. Acesso em: 10 Jun. 2018. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 30.
- RUSSELL, S.; NORVIG, P. *Intelligence artificielle: Avec plus de 500 exercices*. [S.l.]: Pearson Education France, 2010. Citado na página 28.
- SCHENK, T. Digital Photogrammetry, Volume I: Background, Fundamentals, Automatic Orientation Procedures. USA: TerraScience,, 1999. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 28.
- TARALLO et al. Construção de mosaicos de imagens aéreas agrícolas e comparação com outras metodologias. 1993. Citado na página 17.
- TOMMASELLI, A. M. Fotogrametria básica. *Presidente Prudente: UNESP. Disponível em*, 2009. Citado 3 vezes nas páginas 5, 18 e 26.
- TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. *Ciência Rural*, Universidade Federal de Santa Maria, v. 32, n. 1, 2002. Citado na página 10.
- WOLF, P. R. Book. *Elements of photogrammetry with air photo interpretation and remote sensing*. 2nd ed. ed. New York McGraw-Hill, 1983. Includes bibliographies and index. ISBN 0070713456. Disponível em: <<http://openlibrary.org/books/OL3485178M>>. Citado na página 20.
- WOLF, P. R.; DEWITT, B. A. Elements of Photogrammetry: With Applications in GIS, 3ed. U.S.A.: McGraw-Hill Book Company. 2000. Citado na página 28.

APÊNDICE A – Codificação

Depois da abordagem de toda metodologia para a construção do mosaico, desenvolvido um programa em linguagem Python com o apoio de algumas bibliotecas, sendo umas das mais importantes a biblioteca de Visão Computacional OpenCV pela facilidade que ela trás através da chamada de algumas funções para tratamento de imagens, a secção 3.6 tem um melhor detalhamento do porque do uso da biblioteca de visão computacional.

Para facilidade, cada etapa dentro do código será explicado.

A Figura 20, nós trás a parte inicial do código onde se tem a importação de todas as bibliotecas que são utilizadas ao decorrer do código.

```
from glob import glob
from PIL import Image
import cv2
import math
import utm
import time
import numpy as np
```

Figura 20 – Importação de bibliotecas utilizadas. Fonte: Própria (2018).

A Figura 21, apresenta a pré definição de algumas variáveis constantes, que serão descritas abaixo:

- a variável pi, nada mais é que uma variável que irá receber o valor da constante pi;
- a variável GSD será a variável responsável por receber o valor da distância da amostragem do solo;
- a variável Z irá receber a altitude do terreno;
- a variável cont, nada mais é que um contador que irá ser utilizado no código;
- a variável focal irá receber a distância focal da câmera utilizada pelo drone;
- as variáveis pixelsize_x e pixelsize_y irão receber o tamanho do pixel referente as configurações da câmera;
- as variáveis nlines e ncols irão receber respectivamente o número de linhas e números de colunas de cada imagem digital inseridas na entrada.

```
pi = 3.141592654
GSD = 0.225
Z = 670
cont = 0
focal = 3.61
pixelsizex = 0.00156
pixelsizey = 0.00156
nlins = 3000
ncols = 4000
```

Figura 21 – Pré definição de variáveis constantes. Fonte: Própria (2018).

A Figura 22, apresenta todo trecho de código necessário para abertura e leitura dos arquivos de parâmetros de orientação exterior e interior, detalhes do código a seguir:

- Xcp, Ycp, Zcp, variáveis que irão receber os parâmetros de orientação exterior;
- phi,omega,kappa, variáveis que irão receber os parâmetros de orientação interior;
- SK(receberá o seno de kappa), CK(receberá o cosseno de kappa), SF(receberá o seno de phi), CF(receberá o cosseno de phi), SW(receberá o seno de omega), CW(receberá o cosseno de omega);
- A matriz de rotação R receberá alguns cálculos das variáveis acima, para que seja feita a rotação das imagens, para que estas sejam verdadeiramente verticais;
- Uma matriz de refinamento que irá receber valores constantes de 0;
- O contador será incrementado para se ter noção de qual imagem está está trabalhando;
- A variável imagem irá receber a leitura da imagem digital passada no momento e imagem 2 irá receber a imagem vazia (malha fina), para ser transportados os novos valores dos pixels após a retificação das imagens;
- As variáveis X e Y se referem a pré determinação da coordenada de canto superior esquerdo, variáveis que serão responsáveis por pré determinar o local a ser mosaicado.

Figura 23 apresenta trecho de código responsável por aplicar a retificação pelo método indireto como descrito na metodologia do trabalho, e no fim desse trecho de código o local onde a imagem retificada será salva.

```

caminho = 'C:/Users/User/Desktop/TCC2/Python/DataSetCoffee02/*.txt'
arquivos = glob(caminho)
for arq in arquivos:
    f = open(arq, 'r')
    linha = f.readline()
    while linha:
        valores = linha.split()
        Xcp=float(valores[0])
        Ycp=float(valores[1])
        Zcp=float(valores[2])
        phi=(float(valores[4])*pi/180.0)
        omega=(float(valores[3])*pi/180.0)
        kappa=(float(valores[5])*pi/180.0)
        linha = f.readline()
    f.close()

    SK = math.sin(kappa)
    CK = math.cos(kappa)
    SF = math.sin(phi)
    CF = math.cos(phi)
    SW = math.sin(omega)
    CW = math.cos(omega)

    M11 = CF*CK
    M12 = CW*SK + SW*SF*CK
    M13 = SW*SK - CW*SF*CK
    M21 = -CF*SK
    M22 = CW*CK - SW*SF*SK
    M23 = SW*CK + CW*SF*SK
    M31 = SF
    M32 = -SW*CF
    M33 = CW*CF

    R=[M11, M12, M13], [M21, M22, M23], [M31, M32, M33]
    refinamento = [0, 0]
    xp = refinamento[0]
    yp = refinamento[1]

    cont = cont + 1
    imagem = cv2.imread('%s.jpg'%cont)

    imagem2 = cv2.imread('imagemvazia.jpg')

    linha = imagem.shape[0]
    coluna = imagem.shape[1]
    .....
    linha2 = imagem2.shape[0]
    coluna2 = imagem2.shape[1]

    X = 287794.0
    Y = 7469540.0

```

Figura 22 – Abertura e leitura dos arquivos de parâmetros de orientação exterior e interior, realização de alguns processos. Fonte: Própria (2018).

Por fim Figura 24 apresenta o trecho de código responsável por realizar a técnica de mosaicagem, é feita a leitura da imagem vazia (malha fina), abertura e leitura da imagem retificada e então o preenchimento pelos vizinhos mais próximos (concatenação das imagens retificadas uma a outra na malha fina, respeitando por meio de onde já houver pixel preenchido na malha fina não sobreescrever, apenas continuar);

```

for lin in range(0, coluna2):
    for col in range(0, linha2):
        Xposicloop = X + (col * GSD )
        Yposicloop = Y - (lin * GSD )

        NXaux = (R[0][0])*(Xposicloop-Xcp) + (R[0][1])*(Yposicloop-Ycp) + (R[0][2])*(Z-Zcp)
        NYaux = (R[1][0])*(Xposicloop-Xcp) + (R[1][1])*(Yposicloop-Ycp) + (R[1][2])*(Z-Zcp)
        DXaux = (R[2][0])*(Xposicloop-Xcp) + (R[2][1])*(Yposicloop-Ycp) + (R[2][2])*(Z-Zcp)

        x = -focal * ((NXaux/DXaux))
        y = -focal * ((NYaux/DXaux))

        c1 = int(round(( x / pixelsizeX) + ((ncols-1)/2)))
        l1 = int(round((-y / pixelsizeY) + ((nlins-1)/2)))

        if ((c1 < 0) or (l1<0) or (c1>= ncols) or (l1>=nlins)):
            (b,g,r) = (0,0,0)
        else:
            (b, g, r) = imagem[l1,c1]

        imagem2[lin,col] = b,g,r

link = ('C:/Users/User/Desktop/TCC2/Python/DataSetCoffee02/Imagem-Reticada%d'%cont)
cv2.imwrite("%s.jpg"%link,imagem2)

```

Figura 23 – Retificação pelo método indireto. Fonte: Própria (2018).

```

imagem3 = cv2.imread('imagemvazia.jpg')

linha3 = imagem3.shape[0]
coluna3 = imagem3.shape[1]

local = 'C:/Users/User/Desktop/TCC2/Python/DataSetCoffee02/*.jpg'
imagens = glob(local)
for mosaico in imagens:
    img = cv2.imread(mosaico)

    coluna3 = img.shape[0]
    linha3 = img.shape[1]

    for colu in range(0, coluna3):
        for linh in range(0,linha3):
            (b, g, r) = imagem3[linh,colu]
            if( (b,g,r) != (255,255,255)):
                continue
            else:
                (b2, g2, r2) = img[linh,colu]
                if((b2>10) and (g2>10)and (r2>10)):
                    imagem3[linh,colu]= b2,g2,r2

cv2.imwrite("C:/Users/User/Desktop/TCC2/Python/Mosaico Coffee/Mosaico.jpg",imagem3)

```

Figura 24 – Técnica de Mosaicagem. Fonte: Própria (2018).

APÊNDICE B – Processo de retificação

Os arquivos que contém os dados de parâmetros de orientação exterior e interior que são necessários para execução do programa para realizar a retificação e depois gerar as imagens retificadas para mosaicagem de tais, serão explicados a seguir:

- Para a execução de todo programa fez necessário a inclusão de vários arquivos, cada um contendo os parâmetros de orientação exterior e interior de cada imagem digital que foram inseridas, Tabelas 2, 3 e 4 detalham o que cada arquivo contém., lembrando que será exemplificado os dados para o primeiro arquivo, os outros arquivos seguirão este mesmo modelo só modificando seus dados.

Xcp	Ycp	Zcp	Omega	Phi	Kappa
700159.57325	5661900.42794	1137.55605	-5.143317	10.729046	122.007695407

Tabela 2 – Arquivo 1 com dados referentes a primeira imagem do Mosaico 1. Fonte: Própria (2018).

Xcp	Ycp	Zcp	Phi	Omega	Kappa
287959.924	7469517.715	713.540	0.0443	2.0410	124.1459

Tabela 3 – Arquivo 1 com dados referentes a primeira imagem do Mosaico 2. Fonte: Própria (2018).

Xcp	Ycp	Zcp	Phi	Omega	Kappa
260880.2602	7473944.9167	588.9622	2.9849	-0.06385	-142.63

Tabela 4 – Arquivo 1 com dados referentes a primeira imagem do Mosaico 3. Fonte: Própria (2018).

Como pode-se notar através das Tabelas 2, 3 e 4, a única diferença entre os três arquivos referentes aos três mosaicos criados, se dá a ordem dos dados.