

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES E GEODÉSIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E
CARTOGRÁFICA

Elias Nasr Naim Elias

**ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA ATRAVÉS DE IMAGENS
OBTIDAS COM VEICULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)
QUADROTOR**

**ESTUDO DE CASO: *CAMPI* DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA
BAHIA (UFBA)**

Salvador

2017

Elias Nasr Naim Elias

**ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA ATRAVÉS DE IMAGENS
OBTIDAS COM VEICULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)
QUADROTOR**

**ESTUDO DE CASO: *CAMPI* DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA
BAHIA (UFBA)**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Departamento de Engenharia de Transportes de Geodésia da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica.

Orientadora: Prof. Dra. Vivian de Oliveira Fernandes.

Co-Orientadora: Prof. MSc. Mirele Viegas da Silva.

Salvador

2017

Elias Nasr Naim Elias

Banca Examinadora:

Prof. ^a Dra. VIVIAN DE OLIVEIRA FERNANDES (Orientadora)

Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia – Universidade Federal da Bahia

Prof. ^a MSc. MIRELE VIEGAS DA SILVA (Co-Orientadora)

Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia – Universidade Federal da Bahia

Prof. Dr. MAURO JOSÉ ALIXANDRINI JUNIOR

Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia – Universidade Federal da Bahia

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao grande amor da minha vida. Minha mãezinha Marlene, pela proteção, pelas noites em claro me esperando chegar em casa depois da aula, pelo apoio incondicional em todas as minhas decisões. Por me amar incondicionalmente, por ser a melhor mãe do mundo e a melhor pessoa que eu já conheci. Deus foi muito bom comigo ao te escolher para ser minha mãe.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por permitir que eu chegasse até aqui. Toda honra e toda a glória seja dada a ti. “*Pois tudo que tenho, tudo que sou e o que vier a ser vem de ti, Senhor.*”

Aos meus pais, Nasr e Marlene, por serem o meu alicerce durante toda a minha vida, que não me desampararam e me deram todo o apoio do universo, até mesmo nestes anos que permaneci mais tempo na faculdade do que em casa. Meus sinceros muito obrigado.

À minha tia Conceição, por cuidar de mim, me orientar e zelar pela minha vida. Obrigado por existir.

À minha orientadora e amiga Prof.^a Dra. Vivian Fernandes por me dar todo apoio acadêmico e acreditar em mim e nas minhas capacidades. Sem a sua ajuda não teria alcançado um terço de todas as minhas conquistas na faculdade.

À minha co-orientadora Prof.^a MSc. Mirele Viegas pela ajuda e paciência neste trabalho e ao longo das disciplinas cursadas durante estes anos.

Ao Prof. Dr. Mauro Alixandrini por todo o auxílio e conhecimento passado durante a minha graduação.

À Elaine Gomes, colega de trabalho e amiga, obrigado por estar sempre comigo e pela ajuda incondicional na finalização deste trabalho.

À Universidade Federal da Bahia, que me acolheu durante esses anos e me deu subsídios para executar este trabalho, inclusive a área de estudo.

À equipe técnica do Departamento de Engenharia de Transportes e da Geodésia UFBA. Em especial a Raissa e Leandro pelas ajudas prestadas e o convívio diário ao longo desse período.

Aos colegas do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, em especial aos amigos insubstituíveis Danielle Cazumbá, Gabriela Almeida, João Victor, Lorena Costa, Marcos Vinicius e Priscyla Miranda que me permitiram construir uma segunda família na faculdade, sem vocês não teria chegado até aqui.

À Alexandre Aquino e Anderson Freitas, pela ajuda e cuidados na etapa de planejamento e execução das atividades práticas deste trabalho.

À Igreja Batista Peniel do Salvador por me acolher e me fazer conhecer pessoas maravilhosas. Em especial a Adjaci (Ninha), por ser minha amiga, conselheira, serva de Deus, me encorajando e permitindo que tenha feito da sua vida e da sua família e a Jânio Lima, *in memorial*,

por ter sido um grande amigo, irmão na fé e exemplo de bondade e generosidade para com próximo.

Por fim, no fim que não é fim, agradeço ao Elias de 2011, que em meio a tantas incertezas optou em ser Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo.

RESUMO

O embarque de sensores em Veículos Aéreos não Tripulados (VANTs) quadrotoros para fins de aquisição de informações espaciais, tendo em vista a elaboração e atualização de produtos cartográficos, teve grande avanço a partir do século XXI, uma vez que, os avanços tecnológicos neste meio, viabilizaram o uso de técnicas sofisticadas para as etapas do processamento digital através de fotografias obtidas por meio de câmeras digitais. O objetivo desse trabalho foi o uso e aplicação de uma metodologia a fim de gerar ortofotos digitais a partir de fotografias obtidas por meio de VANT quadrotor das mudanças ocorridas em uma determinada área urbana, viabilizando a realização da atualização cartográfica e posteriormente a avaliação da exatidão posicional do produto final. Dessa forma, buscou-se avaliar a aplicabilidade da tecnologia VANT para fins de atualização cartográfica. A metodologia empregada neste trabalho previu a análise e interpretação dos elementos presentes na área de estudo, planejamento dos voos correspondentes aos locais onde houveram mudanças na mesma, aquisição das fotografias aéreas, calibração da câmera, identificação de feições homólogas entre os dados obtidos e o terreno, coleta destas coordenadas por meio de rastreamento GNSS, processamento das imagens brutas para a geração dos Modelos Digitais de Elevação (MDEs) e das ortofotos digitais, vetorização das regiões onde houveram mudanças e controle de qualidade do mapa final obtido. O controle de qualidade foi realizado conforme as análises estatísticas de tendência e de precisão através de pontos de verificação no terreno de acordo com Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). O recobrimento aerofotogramétrico foi realizado com altura média de 60 metros e foram obtidas automaticamente com a câmera não métrica FC 200 14Mp. Foram realizados 20 planos de voos em toda a área de estudo, utilizando 26 pontos de controle para o processamento das fotografias. Foram geradas 7 ortofotos digitais. Para o controle de qualidade planimétrico foram calculados 24 pontos para as análises estatísticas de tendência e de precisão. As análises realizadas corresponderam a escala de 1:2000, uma vez que corresponde ao produto cartográfico utilizado inicialmente para a atualização, sendo avaliado na classe B do PEC. Dessa forma, pode-se concluir que o uso da técnica VANT é viável para fins de atualização cartográfica. Contudo houveram dificuldades relacionadas a obtenção, processamento e geração dos produtos finais, caracterizadas pelas limitações do equipamento e aspectos da área de estudo.

Palavras-chave: VANT quadrotor; Atualização Cartográfica; Controle de Qualidade; Acurácia Posicional.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Critério do PEC	45
Tabela 2: Parâmetros de Conversão SAD 69 – SIRGAS 2000.....	74
Tabela 3: PEC-PCD para escala 1:2.000.....	77
Tabela 4: Especificações dos planos de voos criados	88
Tabela 5: Quantidade de Fotografias por faixa de voo	89
Tabela 6: Parâmetros de calibração obtidos	110
Tabela 7: Cálculo do GSD para cada ortofoto digital gerada	110
Tabela 8: Média das Discrepâncias.....	120
Tabela 9: Desvio Padrão das Discrepâncias.....	120
Tabela 10: Teste t student.....	121
Tabela 11: Erro Padrão Esperado.....	121
Tabela 12: Classificação do produto cartográfico.....	121
Tabela 13: Resultados obtidos para a classe B do PEC	122

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Atualização da apropriação do espaço e evolução da construção urbana.....	14
Quadro 2: Princípio de Funcionamento do VANT quadrotor.....	21
Quadro 3: Padrão de Exatidão Cartográfica da planimetria dos produtos cartográficos digitais	46
Quadro 4: Padrão de Exatidão Cartográfica altimétrica dos pontos cotados, MDT, MDE e MDS	47
Quadro 5: Padrão de Exatidão Cartográfica da altimetria (curvas de nível) dos produtos cartográficos digitais	47
Quadro 6: Materiais utilizados para a elaboração do trabalho	61
Quadro 7: Elementos contidos no SICAD	63
Quadro 8: Mudanças identificadas na UFBA	81
Quadro 9: Coordenadas das Estações de Referência	95
Quadro 10: Coordenadas dos Pontos de Apoio.....	95
Quadro 11: Feições coletas para apoio fotogramétrico.....	95
Quadro 12: Coordenadas pontos de controle para acurácia posicional.....	96
Quadro 13: Coordenadas pontos dos pontos notáveis da base de dados.....	96
Quadro 14: Resultados obtidos a partir da execução dos planos de voo.....	101
Quadro 15: Atualização – Escola Politécnica	112
Quadro 16: Atualização – São Lázaro (Restaurante Universitário).....	112
Quadro 17: Atualização – São Lázaro (Pavilhão de Aulas).....	113
Quadro 18: Atualização – Portão Principal.....	113
Quadro 19: Atualização – IHAC, PAF V e Faculdade de Medicina Veterinária.....	114
Quadro 20: Atualização – PAF (Praça das Artes e Restaurante Universitário).....	114
Quadro 21: Atualização – PAF III, PAF IV e Faculdade de Letras.....	115
Quadro 22: Faculdade de Comunicação, Instituto de Biologia e Ciências da Computação	115
Quadro 23: Faculdade de Farmácia e Anexos PAF I	116
Quadro 24: Biblioteca de Extas de laboratório de físico-química	116
Quadro 25: Faculdade de Arquitetura e Instituto de Geociências.....	117
Quadro 26: Faculdade de Educação Física	117
Quadro 27: Discrepância dos Pontos de Controle.....	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Analogias entre os movimentos do helicóptero e o VANT quadrotor	18
Figura 2: Sentido de rotação dos motores do VANT quadrotor, com equilíbrio dos torques.....	19
Figura 3: Impulso diferencial resultando em um momento em relação ao eixo X	20
Figura 4: Impulso diferencial resultando em um momento em relação ao eixo Y	20
Figura 5: Impulso diferencial para dois pares de motores	21
Figura 6: Relação entre a distância focal da câmara, tamanho do pixel e altura de voo, para o cálculo do GSD	28
Figura 7: Relação Geométrica da Fotografia Vertical	31
Figura 8: Relação Geométrica em terreno irregular	32
Figura 9: Grade de Calibração	33
Figura 10: Condição de Colinearidade – Orientação Exterior	35
Figura 11: Comparação MDS e MDT	37
Figura 12: Comparativo entre malha irregular e regular	40
Figura 13: Princípio do método direto	42
Figura 14: Princípio do método indireto	43
Figura 15: Distribuição das Estações RBMC.....	57
Figura 16: Método de Posicionamento Relativo	58
Figura 17: Organograma de atividades	60
Figura 18: Mapa de localização da área de estudo	62
Figura 19: VANT quadrotor DJI Phantom 2.....	67
Figura 20: Posição 1 - A) Rotação 0; B) Rotação 90°; C) Rotação -90°	70
Figura 21: Posição 2 - A) Rotação 0; B) Rotação 90°; C) Rotação -90	70
Figura 22: Posição 3 - A) Rotação 0; B) Rotação 90°; C) Rotação -90	71
Figura 23: Posição 4 - A) Rotação 0; B) Rotação 90°; C) Rotação -90	71
Figura 24: Mapa indicando as regiões atualizadas na área de estudo da UFBA.....	80
Figura 25: Escola Politécnica - Pavilhão de aulas.....	82
Figura 26: Faculdade de Ciências Humanas – São Lázaro	83
Figura 27: Portão Principal: Reconstrução do instituto de música e ampliação do instituto de dança	84
Figura 28: Pavilhão de Aulas das Federação	84

Figura 29: Faculdade de Arquitetura.....	86
Figura 30: Instituto de Geociências.....	87
Figura 31: Faculdade de Educação Física	87
Figura 32: Restaurante Universitário – PAF	90
Figura 33: Instituto de Biologia	91
Figura 34: PAF III e PAF IV.....	91
Figura 35: Escola de Medicina Veterinária.....	92
Figura 36: Restaurante Universitário – São Lázaro	92
Figura 37: Escola Politécnica	93
Figura 38: Portão Principal	93
Figura 39: Laboratório Físico-química	94
Figura 40: Mapa com pontos de controle utilizados neste trabalho	98
Figura 41: Resultados da Calibração em laboratório	99
Figura 42: Erro identificado em uma das fotografias tomadas	100
Figura 43: Alinhamento das Fotografias	102
Figura 44: Modelo Tridimensional – Prédio: Escola Politécnica	102
Figura 45: Ortofoto – Prédio: Escola Politécnica.....	103
Figura 46: Modelo Tridimensional – São Lázaro: Restaurante Universitário	103
Figura 47: Ortofoto – São Lázaro: Restaurante Universitário	104
Figura 48: Modelo Tridimensional - São Lázaro: Pavilhão de Aulas.....	104
Figura 49: Ortofoto – São Lázaro: Pavilhão de Aulas	105
Figura 50: Modelo Tridimensional – Portão Principal.....	105
Figura 51: Ortofoto – Portão Principal.....	106
Figura 52: Modelo Tridimensional – Faculdade de Arquitetura e Instituto de Geociências	106
Figura 53: Ortofoto – Faculdade de Arquitetura e Instituto de Geociências	107
Figura 54: Modelo Tridimensional - Quadra de Esportes.....	107
Figura 55: Ortofoto – Quadra de Esportes	108
Figura 56: Modelo Tridimensional – Pavilhão de Aulas da Federação	108
Figura 57: Ortofoto – Pavilhão de Aulas da Federação	109
Figura 58: Mapa atualizado dos <i>campi</i> da Universidade Federal da Bahia	118

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
1.1. Objetivos.....	6
1.1.1. Objetivo geral.....	6
1.1.2. Objetivos específicos	6
1.2. Justificativa.....	6
2. REVISÃO TEÓRICA	9
2.1. Base cartográfica	9
2.1.1. Base cartográfica digital em escala grande	11
2.2. Atualização cartográfica	13
2.2.1. Técnicas de atualização cartográfica	15
2.3. Mapeamento com VANT	16
2.3.1. Vant quadrotor	17
2.3.2. Princípio de funcionamento do VANT quadrotor	18
2.3.3. Sistemas de automação dinâmica.....	22
2.3.4. Regulamentação brasileira para voos não tribulados.....	22
2.3.5. Vantagens e desvantagens na utilização de VANT's	24
2.4. Fotogrametria a partir de um VANT	25
2.4.1. Projeto fotogramétrico	26
2.4.1. Geometria das fotografias aéreas	29
2.4.1. Parâmetros de orientação das câmeras.....	32
2.4.2. Aerotriangulação.....	35
2.4.3. Modelo digital do terreno.....	37
2.4.4. Geração de ortofotos digitais	41
2.4.5. Qualidade da imagem	43
2.5. Controle de qualidade.....	44
2.5.1. Padrão de exatidão cartográfica	45
2.5.2. Análises estatísticas para a determinação da acurácia posicional.....	48
2.6. Georreferenciamento: obtenção de amostras.....	56
2.6.1. Georreferenciamento.....	56
2.6.2. Rede brasileira de monitoramento contínuo (RBMC).....	56
2.6.3. Técnicas de posicionamento	57

3. METODOLOGIA	59
3.1. Materiais	61
3.2. Caracterização da área de estudo	61
3.3. Caracterização do sistema cartográfico e cadastral do município do salvador	63
3.4. Projeto de atualização cartográfica	63
3.4.1. Identificação das regiões atualizadas	64
3.4.2. Análises em campo das áreas modificadas	64
3.4.3. Planejamento de voo	65
3.5. Atividades realizadas em campo	65
3.5.1. Aquisição das imagens através do vant quadrotor dji phantom 2.....	66
3.5.2. Coleta das coordenadas dos pontos de controle.....	67
3.6. Atividades realizadas em laboratório para geração das ortofotos digitais.....	69
3.6.1. Calibração da câmera	69
3.6.2. Processamento das imagens	72
3.7.1. Sobreposição da base cartográfica do sicad em relação às ortofotos geradas	73
3.7.2. Vetorização dos novos elementos identificados	74
3.8. Controle de qualidade	75
3.8.1. Determinação do número de amostras	76
3.8.2. Cálculo da média e desvio padrão das discrepâncias.....	76
3.8.3. Análise de tendência	76
3.8.4. Análise de precisão	77
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	79
4.1. Projeto de atualização cartográfica.....	79
4.1.1. Identificação inicial das regiões atualizadas	79
4.1.2. Análises em campo das áreas modificadas	81
4.1.3. Planejamento de voo	82
4.2. Atividades realizadas em campo	89
4.2.1. Aquisição das imagens através do vant quadrotor dji phantom 2.....	89
4.2.2. Coleta das coordenadas dos pontos de controle.....	94
4.3. Atividades realizadas em laboratório para geração das ortofotos digitais.....	99
4.3.1. Calibração da câmera	99
4.3.2. Processamentos das imagens	100
4.4. Geração do mapa atualizado.....	111

4.5. Controle de qualidade.....	119
4.5.1. Determinação do número de amostras.....	119
4.5.2. Cálculo das discrepâncias.....	119
4.5.3. Cálculo da média e desvio padrão das discrepâncias.....	120
4.5.4. Análise de tendência.....	120
4.5.5. Análise de precisão.....	121
5. DIFICULDADES ENCONTRADAS.....	123
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	125
7. REFERÊNCIAS.....	128
8. APÊNCIDES.....	134

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Lima (2011), o conceito de cartografia foi estabelecido pela Associação Cartográfica Internacional (ACI) em 1966, com ratificação pela UNESCO no mesmo ano e diz respeito a um *“conjunto de estudos e operações científicas, técnicas e artísticas que são voltados para a elaboração de mapas e cartas ou a representação de elementos e objetos físicos de acordo com a sua forma de utilização.”* Para a realização destes estudos e operações têm-se como base as observações diretas ou a análise da documentação referente a uma determinada vertente.

Estudos realizados relacionados a respeito de atualização cartográfica global revelam que o estado da cartografia mundial mostra a carência de produtos cartográficos que estabeleçam informações atualizadas para as mais extensas regiões do planeta, principalmente no que se refere a mapeamento em escala grande. Lima (2011) afirma que a comunidade cartográfica tem procurado e direcionado esforços para a obtenção de novas técnicas de atualização. Dessa forma, são buscadas metodologias alternativas para que ocorra a atualização cartográfica de forma mais rápida e econômica do que as técnicas fotogramétricas já conhecidas e que se possa conhecer as limitações da tecnologia, sabendo onde é possível aplicar as técnicas de custo reduzido.

No que diz respeito ao Brasil, as crescentes mudanças no cenário geográfico ocasionadas por fatores socioeconômicos e pela urbanização requerem que sejam realizadas atualizações nos mapeamentos locais em curtos períodos de tempo, a fim de que se possam analisar tais mudanças. Tratando-se de mapeamento em escala grande, a criação de novas metodologias para a atualização cartográfica é de fundamental importância, uma vez que, são inerentes as mudanças nos aspectos urbanos em períodos de tempo cada vez menores, como a construção de novas áreas edificadas, mudanças no sistema viário, mudanças na vegetação, etc.

Diante das metodologias conhecidas, este trabalho busca a análise e validação de um projeto de atualização cartográfica com o uso do VANT quadrotor, avaliando a sua viabilidade para projetos de mapeamento em escala grande. Este equipamento permite que sejam geradas imagens com um menor período de tempo e custo, além de conseguir mapear áreas específicas de um determinado local a um custo reduzido.

Este trabalho também tem o intuito de expor as limitações desta tecnologia, levantando aspectos que devem ser considerados para que o uso possa ser indicado.

Dessa forma, a partir de uma determinada área de estudo, é realizado o projeto de atualização cartográfica com o uso do VANT quadrotor, seguidas de análises realizadas para validação da sua precisão posicional, levantando aspectos técnicos em contraponto a tecnologia tradicional de aerofotogrametria estabelecendo assim algumas diretrizes para a sua utilização.

1.1.OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a utilização de imagens do VANT quadrotor DJiPantom 2 para a atualização cartográfica urbana, de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) a partir de uma base cartográfica digital vetorial.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Estabelecer a abrangência da utilização de imagens de VANT quadrotor, a fim de investigar as suas limitações para a atualização cartográfica;
- b) Realizar um experimento com o VANT quadrotor, a fim de investigar as suas limitações para a atualização cartográfica;
- c) Avaliar a qualidade geométrica da imagem do VANT quadrotor em região urbana, utilizando como área teste os *campi* da Universidade Federal da Bahia;
- d) Determinar quais as dificuldades no processo de vetorização para a atualização cartográfica.

1.2. JUSTIFICATIVA

As crescentes mudanças no cenário geográfico relacionadas aos aspectos populacionais e socioeconômicos sempre trouxeram problemas de execução e manutenção dos mapeamentos existentes no Brasil. O curto período de tempo em que essas mudanças são desencadeadas não são analisadas em projetos de mapeamento, uma vez que não existe uma política de atualização cartográfica, além de limitações dos governantes quanto ao conhecimento sobre a importância da cartografia para a gestão dos municípios.

Estudos realizados por Matsouka (2006) revelam que um dos grandes problemas existentes na implantação de projetos no Brasil é a falta de documentos cartográficos de qualidade, apresentando os seguintes aspectos:

- Vazios existentes em mapeamentos de determinadas áreas;
- Escalas impróprias;
- Produtos inadequados em relação ao padrão de qualidade estabelecido.

Tratando-se de cartografia em escala grande de área urbana, torna-se necessário atentar-se aos mapeamentos em escala grande que identifiquem atualizações inerentes aos traçados de cidades, vias de acesso, alterações na quantidade de áreas verdes e áreas construídas, etc. Dessa forma, a atual dinâmica de crescimento das cidades, atrelada a falta de cultura cartográfica dos gestores municipais leva a falta de atualização dos mapas, o que ocasiona um dos maiores problemas cartográficos existentes. Além disso, os custos relacionados às técnicas utilizadas para a execução de projetos de mapeamento tradicional acabam sendo fator preponderante para a desatualização cartográfica existente.

O trabalho realizado consistiu em investigar as possibilidades de utilização de uma metodologia de atualização cartográfica utilizando drone de baixo custo onde é possível, por meio de estudos prévios realizados, sobrevoar áreas específicas de um determinado local que sofreram mudanças. Tal metodologia busca viabilizar o tempo, o custo e a precisão de dados para a atualização cartográfica em comparação à técnicas de mapeamento já existentes. A fotogrametria clássica, por exemplo, utilizada para projetos de mapeamento torna-se de alto custo para a atualização cartográfica, uma vez que, pela complexidade do método, para mapear pequenas regiões que sofreram alterações, deve-se muitas vezes, realizar um novo projeto de mapeamento, o que acarreta custos e maior tempo para a aquisição dos dados.

Atualmente tem se multiplicado empresas que oferecem diversos serviços cartográficos com VANT's quadrotoros. Contudo, muitas vezes são realizados processos de mapeamento com desconhecimento técnico em cartografia. Neste aspecto, no trabalho desenvolvido também são avaliados processos apropriados para o uso do VANT voltado para as técnicas de mapeamento cartográfico.

Para se realizar um mapeamento aerofotogramétrico com o uso de VANT depende de uma série de fatores. A disseminação da tecnologia fez com que muitas pessoas adquirissem equipamentos e começassem a prestar serviço em mapeamento, incluindo voos para obtenção

e processamento de imagens. Porém esta prática possui muitas ressalvas. Com a utilização de alguns softwares existentes é possível que uma parte dos usuários consigam processar as imagens, criar um mosaico das imagens capturadas com coordenadas conhecidas devido ao receptor GNSS embarcado na plataforma. Porém fazer fotogrametria é muito mais do que gerar mosaicos de imagens aéreas de uma determinada área, e sim fornecer produtos com determinada e conhecido padrão de exatidão que possam servir de base cartográfica para projetos oferecendo indicadores qualitativos e quantitativos desta área.

A área de estudo utilizada para o desenvolvimento deste trabalho corresponde à área dos *campi* da Universidade Federal da Bahia (UFBA), no *campus* de Ondina, Federação e São Lazaro, totalizando uma área total de aproximadamente 300.000m². A escolha deste local, deve-se ao fato de que nos últimos dez anos, devido a implantação do REUNI (Restruturação e Expansão das Universidades Federais), permitiu-se construções em várias áreas do *campus*, com a criação de novos pavilhões de aulas, centros esportivos, restaurantes universitários, áreas verdes e áreas de lazer, permitindo então, a aplicação deste estudo de atualização cartográfica no local.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1. BASE CARTOGRÁFICA

Na elaboração de projetos cartográficos torna-se necessário estabelecer primeiramente quais as informações que ele irá transmitir ao usuário de acordo com a aplicação que será realizada e o público alvo de interesse. Dessa forma, de acordo com a definição de uma base cartográfica, uma das suas principais finalidades está relacionada à coleta de informações que servirão de subsídio para a geração de novos produtos cartográficos que exprimem dados suficientes para a execução de determinadas aplicações.

De acordo com Lazzarotto (2005), uma base cartográfica é definida como o material que contém as informações cartográficas que serão indispensáveis para determinados fins, onde a geração de um novo produto requer que sejam selecionadas informações de um conjunto de documentos cartográficos que possuam coerência entre si, atrelados ao nível de precisão espacial destinadas às características de aplicações e usabilidade pelo usuário.

Segundo Vieira (2015), a elaboração de documentos cartográficos que proporcionam dados que definem uma base cartográfica são realizados através de processos complexos e devem ser gerados a partir de padrões e especificações técnicas únicas que garantam a comunicação cartográfica entre os elementos que a constituem e permitam o seu compartilhamento, interoperabilidade e distribuição, viabilizando e facilitando o nível de utilidade no uso da informação nos mais diversos parâmetros socioeconômicos definidos, seja no setor público governamental ou no setor privado. Vieira (2015) ainda ressalta a importância para a gestão pública a partir da construção de uma base cartográfica, uma vez que a mesma possibilitará que os órgãos governamentais detenham informações suficientes sobre os aspectos do espaço geográfico e o conhecimento de inúmeras feições que o caracterizam, facilitando e viabilizando a tomada de decisões nas mais diversas ações incluindo saúde, educação, setores sociais, meio ambiente e de infraestrutura.

Lazzarotto (2005) afirma que uma base cartográfica é obtida a partir de um mapeamento topográfico associado a informações temáticas que são correspondentes ao objetivo do mapeamento. Contudo, a partir dos avanços tecnológicos desencadeados, existem outros métodos para a sua obtenção, podendo ser por meio de planejamento aerofotogramétrico, aquisição de imagens orbitais de alta resolução ou até por meio de técnicas menos precisas. O

método utilizado pode variar de acordo com o nível de detalhamento que se deseja obter, a precisão dos dados e a escala do mapeamento estabelecido.

No processo de construção de uma base cartográfica é necessário atentar para as informações que o usuário já possui para que os dados sejam implementados e posteriormente atribuídos a um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

A aplicação dos dados em um SIG, permite o manuseio das informações de acordo com as necessidades do usuário e a partir da filtragem dos atributos que devem estar contidos no mesmo permite-se que sejam realizados, dessa forma, tratamento computacional dos dados geográficos e a recuperação de informações de acordo com as características alfanuméricas e localização espacial dos elementos, de acordo com as características que o compõem.

De acordo com Lacerda (2003), as principais funções de um SIG estão relacionadas a coletar, armazenar, manipular, analisar e exibir dados. A coleta de dados está relacionada a conversão dos dados gráficos ou de atributos em formato digital. O armazenamento e manipulação dos dados envolvem controle e edição dos arquivos. A análise dos dados diz respeito ao ajuste da base de dados, análises espaciais e a modelagem. Por fim, a exibição dos dados consiste em exibir os resultados por meio do uso de mapas.

Silveira et al (2008) estabelece alguns questionamentos que poderão ser feitos na fase inicial a fim de determinar diretrizes que serão de fundamental importância. Os questionamentos são dados da seguinte forma:

- Quais produtos estão disponíveis?
- Existem cartas topográficas referentes a área de estudo?
- Existe alguma base cartográfica anterior a criação desta?
- Qual o meio que estão propagados os produtos (analógico ou digital)?
- São fotografias aéreas?

A partir destas perguntas podem-se qualificar os dados estabelecidos, ou seja, poderá ser atribuída a qualidade dos materiais utilizados como referências e estruturar a sua forma de armazenamento, bem como o meio de propagação, uma vez que, os questionamentos estabelecidos previamente permitem avaliar o formato em que será construída a referida base cartográfica.

Dessa forma, os dados representados em uma base cartográfica podem variar de acordo com uma série de fatores e aspectos apresentados, onde as informações iniciais interferem nos tipos de dados, bem como, os itens presentes em uma determinada área de estudo.

2.1.1. BASE CARTOGRÁFICA DIGITAL EM ESCALA GRANDE

Com o advento de novas tecnologias as bases cartográficas, que antes eram elaboradas por meio de processos analógicos passaram a ser elaboradas em meio digital, permitindo avanços e melhorias no manuseio e disseminação das informações. Paulino et al (1998) define uma base cartográfica digital como sendo o conjunto de documentos e registros cartográficos em formato digital, onde os elementos representam os componentes de um determinado local delimitado a partir de uma área de estudo.

Arelada a implementação de uma base cartográfica digital, a necessidade em representar elementos urbanos requer que sejam atribuídos maiores níveis de detalhamentos, uma vez que, o ambiente urbano consta de inúmeras informações quando analisadas de forma espacial. Conforme destaca Silveira (2008), os métodos para a elaboração de uma base cartográfica variam de acordo com a sua aplicação, onde o manuseio de dados urbanos requer um nível maior de abrangência de informações detalhadas e realização de atividades em campo, em detrimento de aplicações para fins ambientais em que uma imagem de satélite torna-se suficiente para o desenvolvimento e criação de uma base cartográfica referente aos estudos a serem realizados.

Nesta perspectiva, é definida como base cartográfica urbana, uma base criada a partir de dados e informações que definem os parâmetros de uma cartografia urbana desde os elementos que serão representados, até a sua disposição final. Para a caracterização urbana, uma das principais características que deve ser levada em consideração é a escala utilizada, uma vez que, ela será o ponto de partida para a definição do nível de detalhamento e quantificação e qualificação do que será representado. De acordo com Blachut (1979) as cidades demandam por uma densa variedade de mapas, já que existem inúmeros fatores que não podem ser analisados e avaliados e que necessitam da sua estruturação por meio dos mesmos. Tais fatores são atribuídos da seguinte forma:

- Administração das Cidades;
- Serviços Técnicos;

- Planejamento;
- Investimentos.

Os mapas que poderão ser criados de acordo com estes itens, possuem variações na escala, conteúdo e forma que será apresentado o resultado final, podendo necessitar de mapas com escalas que variam de 1:5000, até 1:10000. O mesmo autor afirma ainda, que para mapeamentos referentes a questões administrativas e de uso da terra, são necessárias escalas que variam de 1:500 e 1:2000. A partir da criação de cartas com as finalidades apresentadas é definido o cadastro urbano, que corresponde a representação de forma detalhada de um determinado terreno, onde as informações planimétricas devem ser preservadas de acordo com a sua forma e dimensão, em detrimento daquelas feições que fogem ao nível de percepção da escala utilizada.

Para avaliar e definir quais as feições que devem estar contidas em um mapa urbano em escala grande, Fernandes (2006) avaliou propostas e projetos desenvolvidos através de algumas fontes de pesquisa diferentes sendo elas: Blachut (1979), Burity (1999), Bertini (2003) Ferrari (1997) e o CTCG (1993), a fim de avaliar as categorias mais decorrentes e selecionar aquelas mais relevantes para definir os aspectos de um mapa urbano. A seguir são exibidas as categorias e suas respectivas feições de maior relevância e periodicidade nas pesquisas realizadas pela autora.

- a) Sistema Viário: Tipo e Via, Existência de Meio Fio e Classificação Da Via;
- b) Propriedades: Tipos de Edificações, Quantidade de Pavimentos, Características e Destinação;
- c) Limites: Tipos de Limites Existentes e Alinhamentos Observados;
- d) Uso do Solo: Características Físicas do Solo;
- e) Vegetação: Tipos de Vegetação, Densidade Local da Vegetação;
- f) Hidrografia: Nascente, Rio, Canal, Lago, Lagoa, Açude;
- g) Pontos de Referência: Vértices Geodésicos e Vértices Topográficos;
- h) Altimetria: Pontos Cotados e Curvas de Nível.

De acordo com as categorias apresentadas, quando avaliadas em conjunto, torna-se viável a criação de uma base cartográfica urbana que modele boa parte da estrutura urbana de

acordo com as análises a serem descritas e o nível de detalhamento que se deseja obter a partir da escala utilizada pelo usuário.

2.2. ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

Atualmente as técnicas e métodos utilizados para mapeamento para a atualização cartográfica tem sido cada vez mais estudados devido às intensas mudanças no cenário geográfico, principalmente tratando-se de variações urbanas, onde a ocupação, cada vez mais expressiva, desencadeia variações em períodos de tempo cada vez menores. Uma das principais dificuldades aparentes no processo de atualização cartográfica está relacionada aos níveis de detalhamento estabelecidos por meio da escala utilizada e a demanda de informações nos dados já disponíveis. Rosa (1994) atribui as seguintes análises que são realizadas no desenvolvimento de mapeamentos em escala grande:

Escala de 1:10000 - Utilizada para mapeamento de áreas urbanas e rurais;

Escala de 1:2000 e 1:10000 – Utilizada para mapeamento e identificação de feições referentes a áreas urbanizadas.

Apesar dos mapeamentos em escala grande serem realizados no intuito de abranger a obtenção de maiores informações sobre uma determinada localidade e atender a uma maior precisão cartográfica, os mesmos não têm sido realizados com a finalidade desta última, restringindo-se apenas a obter uma melhor disponibilidade no espaço gráfico através da distribuição de detalhes.

Para implantação de uma atualização sistemática contínua é necessário que o fluxo de informações seja permanente, viabilizando a dinâmica do trabalho e permitindo que seja desenvolvido o processo de atualização cartográfica. Dessa forma, as informações que são indispensáveis para a atualização de um mapeamento na escala de 1:2000 são decorrentes da ação humana. (ROSA, 1994).

O quadro 1 a seguir apresenta os processos desencadeados a partir da apropriação do espaço e de evolução da construção urbana.

Quadro 1: Atualização da apropriação do espaço e evolução da construção urbana

Expansão urbana através de novos mapeamentos
Desmembramento de lotes já existentes
Novas edificações
Reforma das edificações já existentes
Alterações no sistema viário
Retificação e canalização de rios e córregos
Alterações na cobertura vegetal
Modificações na toponímia dos logradouros
Alterações na localização de feições (postes, árvores, etc.)
Movimentos de terra que afetam a altimetria

Fonte: Adaptado de ROSA (1994)

Apesar das enormes influências apresentadas para mapeamento e representação cartográfica, principalmente em escala grande, ainda existem inúmeras dificuldades no que diz respeito ao processo de atualização cartográfica. Segundo Assis (2001), a demanda da obtenção de informações para que sejam tomadas decisões têm apresentado dificuldades devido à falta de atualização de dados disponíveis, tanto nos projetos de mapeamento referentes a áreas rurais, quanto na construção de bases cartográficas.

De acordo com Matsouka (2006), a geração de um produto cartográfico corresponde a um dado físico da localidade mapeada em um determinado período de tempo, sendo caracterizado como dinâmico e por esta razão, devendo existir um processo de atualização que viabilize a execução e desempenho das atividades. Dessa forma, são adicionados novos elementos de atualização, sendo realizada por meio de duas principais operações envolvidas no mesmo, sendo elas:

- a) Detecção de mudanças ocorridas no espaço objeto;
- b) Processo de atualização da carta.

Robbi (1990, apud ROCHA, 2002) estabelece e classifica três métodos de atualização da seguinte forma:

- Cíclico: A atualização é realizada em intervalos de tempo pré-definidos;
- Seletivo: A atualização é realizada segundo uma ordem de prioridades;
- Contínuo: A carta é mantida em constante atualização.

O método de atualização que permite melhores obtenções de resultados é a contínua, contudo a sua utilização acaba se tornando inviabilizada devido aos elevados custos de implantação ou a sua dificuldade. A utilização de tais métodos será decorrente da dinâmica em que as mudanças e atualizações são desencadeadas, bem como, a finalidade com a qual os produtos cartográficos serão utilizados pelos usuários.

2.2.1. TÉCNICAS DE ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

Foram realizadas pesquisas em projetos de atualização cartográfica desenvolvidos em trabalhos acadêmicos e produtos cartográficos para as mais diversas finalidades e identificou-se que para este processo têm sido utilizadas imagens de satélites de alta resolução obtidas através de sensores orbitais. De acordo com Matsouka (2006), a agilidade com a qual o sensoriamento remoto tem representado para a cartografia é extremamente viável, uma vez que a agilidade atrelada a redução de custos obtidos por meio da utilização de sensores orbitais consegue gerar imagens com qualidade suficiente para a realização do processo de atualização cartográfica para determinadas escalas.

Outro processo de atualização cartográfica diz respeito a realização de um projeto de aerolevanteamento, com a tomada e processamento de fotografias da área a ser mapeada. Apesar da eficiência do método e garantir uma boa qualidade posicional, principalmente para mapeamentos em escala grande, para projetos de atualização torna-se dificultoso o uso da técnica para o processo de atualização, uma vez que, não é tão viável financeiramente realizar tomadas de voo para pequenas regiões que sofreram alterações dinâmicas, necessitando realizar um novo planejamento aerofotogramétrico do local. Rosa (1994) afirma que o ideal, para fins de atualização em escala grande é que fosse realizado um recobrimento fotogramétrico anual de um determinado local para a atualização a partir da restituição de áreas que sofreram alterações, contudo o custo para a sua implantação dessa forma é inviável, além de se tratar de um processo trabalhoso a partir do uso das técnicas estabelecidas.

Os avanços tecnológicos desenvolvidos nos últimos tempos tem permitido a implementação de técnicas atreladas ao desenvolvimento da cartografia digital e juntamente com isso o desenvolvimento dos Veículos Aéreos Não Tripulados – VANTs, onde é possível obter fotografias aéreas com processamento a partir de programas específicos de geoprocessamento e por meio destas é possível realizar o planejamento de pequenas cidades e

em alguns casos realizar projetos de atualização em cidades médias, inserindo em outros produtos cartográficos os recortes espaciais.

2.3. MAPEAMENTO COM VANT

A construção de aeronaves não tripuladas deu-se início para fins militares, a partir da execução de missões aéreas que geravam risco a vida humana. De acordo com Longhitiano (2010), os avanços tecnológicos têm implicado no desenvolvimento científico e civil onde o uso aéreo de veículos não tripulados pode apresentar vantagens técnicas e econômicas de acordo com os campos de atuação designados.

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) têm sido utilizados para as mais diversas aplicabilidades civis, desde análises ambientais até o desenvolvimento de projetos de mapeamento. Tais equipamentos quando acoplados a câmaras digitais de qualidade, permitem a aquisição de fotos aéreas e a aplicação de técnicas de fotogrametria (TEDESCO et al 2013).

Além das câmaras digitais, os VANTs possuem um GPS (*Global Positioning System*) acoplado e são utilizados para as mais diversas aplicações, servindo como foco de investigação em vários aspectos da superfície terrestre, permitindo gerar modelos para finalidades e análises específicas. Pegoraro (2013), afirma que a navegação autônoma do VANT é realizada por meio do uso de sistema GNSS por meio da utilização de tecnologia inercial de medição e uso de outros sensores. Para permitir que seja realizado um trabalho fotogramétrico confiável com o uso de VANTs é necessário que o mesmo seja programável, possibilitando o desenvolvimento da sistemática de mapeamento da região de interesse.

De acordo com Eisenbeiss (2009), a qualidade das imagens geradas por VANTs está diretamente ligada ao custo de aquisição do mesmo, uma vez que os que são caracterizados por possuírem custos mais baixos normalmente apresentam as seguintes limitações:

Limite de Carga Útil

Por possuírem limite de carga, geralmente são equipados com sensores de baixo peso e com formato reduzido das câmaras, sendo necessário um número maior de tomada de fotografias para obter uma melhor cobertura e resolução fotogramétrica da área trabalhada.

Baixa estabilidade dos sensores

Os sensores de baixo custo costumam ser menos estáveis que os de alta tecnologia, gerando uma qualidade reduzida da imagem.

Motores menos potentes

Os VANTs de baixo custo normalmente são equipamentos com motores menos potentes, o que limita o voo realizado a uma determinada altura alcançável.

O mesmo autor ainda caracteriza os VANTs como sendo veículos aéreos não tripulados, motorizados e reutilizáveis que podem voar de forma autônoma ou manual, conduzidos por um piloto no solo, com o uso de um controle remoto.

2.3.1. VANT QUADROTOR

Os avanços relacionados a técnicas de engenharia e ciências dos materiais permitiu o desenvolvimento de pequenos VANTs quadrotores, também chamados de *microdrones*, que podem ser equipados com câmeras e outros sensores, podendo estes ser operados a partir de uma estação de controle no solo. No que diz respeito a fins de uso civil, tais equipamentos podem ser utilizados para as mais diversas aplicações, onde, de acordo com Quaritsch et al (2008) destacam-se:

- Imagens aéreas convencionais;
- Imagens aéreas convencionais em tempo real;
- Imagens de infravermelho;
- Modelos estereoscópicos para a fotogrametria.

O mesmo autor ainda destaca o uso dos VANTs quadrotores devido a sua simplicidade mecânica e as facilidades com a qual podem ser executadas manobras ao fazer uso do mesmo, tornando-se aplicável nas mais diversas pesquisas desenvolvidas. O elevado grau de liberdade permitido ao executar um determinado voo utilizando tal equipamento, viabiliza a obtenção de informações que antes não eram possíveis, uma vez que são atribuídas tecnologias que possibilitam a decolagem vertical, voo pairado, facilidade de aterrissagem em pouco espaço, sensores inerciais e presença de obstáculos. Além disso, permite-se obter uma ampla visão

sobre variações no espaço territorial, no que diz respeito a monitoramento ambiental, gestão de desastres e processos de urbanização.

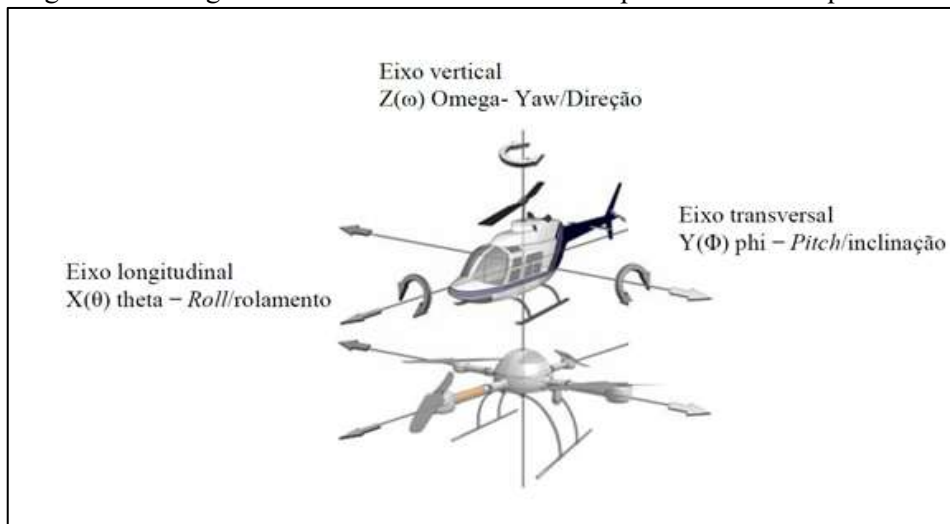
2.3.2. PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO VANT QUADROTOR

De acordo com Costa (2008), a posição absoluta de um VANT quadrotor é definida por três coordenadas (x,y,z) do centro de massa em relação ao plano de referência da Terra. Sua atitude absoluta é descrita a partir dos três ângulos de Euler (ω, θ, Φ) . Tais ângulos são denominados da seguinte forma:

- ω $(-\pi \leq \omega < \pi)$: Ângulo de Guinada;
- θ $(-\pi/2 \leq \theta < \pi/2)$: Ângulo de Inclinação;
- Φ $(-\pi/2 \leq \Phi < \pi/2)$: Ângulo de Rolagem.

Pegoraro apresenta na figura 1 as analogias entre esses movimentos exibidos de acordo com o funcionamento de um helicóptero convencional, comparadas com o VANT quadrotor

Figura 1: Analogias entre os movimentos do helicóptero e o VANT quadrotor



Fonte: Adaptado de Pegoraro (2013)

Tais ângulos permitem que sejam executados os movimentos no VANT quadrotor sem que ocorram acrobacias.

Segundo Pegoraro (2013), para que o VANT quadrotor seja controlado são utilizados os métodos de impulso diferencial e torque. Tais métodos são descritos da seguinte maneira:

Torque

Os motores do VANT quadrotor são dispostos em pares de contrarotação, onde o torque de reação gerado a partir do primeiro par de motores seja exatamente oposto ao segundo par. Dessa forma, cada par de motores estará girando em sentidos opostos para que os torques permaneçam equilibrados, não ocorra momento de rotação e o corpo do VANT quadrotor não seja desviado (guine) em torno do eixo vertical. A figura 2 representa este método, onde as setas desenhadas representam a direção da rotação com a qual os motores estão submetidos.

Figura 2: Sentido de rotação dos motores do VANT quadrotor, com equilíbrio dos torques



Fonte: Stepaniak (2008)

Impulso Diferencial

A partir do sentido de rotação dado a cada par de motores, ocorre a aplicação do impulso diferencial, ou seja, dentro de um par de motores girando na mesma direção ocorre a variação da velocidade de rotação de um em relação ao outro. Dessa forma, enquanto um dos motores tem a sua velocidade reduzida o outro tem ela aumentada, permitindo que o torque sobre o eixo vertical permaneça nulo. A diferença de impulso entre os dois motores ocasiona um momento e a altitude é controlada pelo aumento ou diminuição da rotação do montante total. O momento gerado em relação ao eixo x, provocaria uma reação de rolamento do VANT quadrotor no sentido do impulso aplicado (direita ou esquerda) e o momento em relação ao eixo y resultaria em uma arfagem.

A figuras 3 e 4 exibem o impulso diferencial aplicado no VANT quadrotor, com momentos, respectivamente, em relação ao eixo x e ao eixo y. As setas escuras indicam o par

de motores onde houve o impulso diferencial e as setas maiores representam os motores em que a velocidade de rotação é maior.

Figura 3: Impulso diferencial resultando em um momento em relação ao eixo X



Fonte: Stepaniak (2008)

Figura 4: Impulso diferencial resultando em um momento em relação ao eixo Y



Fonte: Stepaniak (2008)

A mudança da direção do azimute ocorre por meio do torque diferencial para dois pares de motores. Sendo assim, o impulso total permanece constante e não ocorre a mudança de altitude, contudo o desequilíbrio no torque causa no corpo uma guinada em relação ao eixo vertical ou eixo z. A figura 5 exhibe a aplicação do torque diferencial para dois pares de motores.

Figura 5: Impulso diferencial para dois pares de motores



Fonte: Stepaniak (2008)

Dessa forma, os movimentos de rolamento, arfagem e guinada permitem que os movimentos no VANT quadrotor sejam executados, permitindo que ocorra a tomada de voo. O quadro 2 exhibe as manobras executadas e a técnica utilizada a partir dos três movimentos descritos.

Quadro 2: Princípio de Funcionamento do VANT quadrotor.

Tipo de Movimento	Manobra Executada	Princípio de Funcionamento
Arfagem	Movimentos do VANT quadrotor para a frente e para trás	Aumenta-se a potência do rotor traseiro e diminui-se a potência do motor da frente de impulso para manter a pressão total.
Rolamento	Movimentos Laterais	Aumenta-se a potência esquerda do rotor e diminuindo a direita de impulso do rotor para manter o impulso total.
Guinada	Mudança de direção em torno do eixo vertical	Redução da rotação de um par de motores e aumentar a rotação do outro, mantendo a mesma potência total para evitar um movimento de subida ou descida

Fonte: Adaptado de PEGORARO,2013.

2.3.3. SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO DINÂMICA

Segundo Pegoraro (2013), o núcleo do sistema de navegação de um VANT quadrotor é composto por sensores inerciais de baixo custo, sendo continuamente ajudados pelo GNSS, bússola magnética e informações da altura barométrica. Uma Unidade de Medição Inercial (IMU), trata-se de um dispositivo eletrônico que mede e relata em um determinado equipamento, os seguintes itens:

- Velocidade;
- Orientação;
- Forças Gravitacionais.

Tais itens são relatados por meio de uma combinação de sensores. Pegoraro (2013) ainda caracteriza a IMU como sendo o coração do sistema eletrônico do VANT quadrotor, uma vez que é nela que ocorre o controle de posição e o controle da altitude barométrica.

2.3.4. REGULAMENTAÇÃO BRASILEIRA PARA VOOS NÃO TRIBULADOS

De acordo com Furtado et al. (2008) a integração de VANTs no atual cenário da aviação civil ainda possui muitas limitações de acordo com a regulamentação seguida, atrelada a vaga experiência profissional para operar o mesmo.

No Brasil, a portaria da defesa normativa nº 606, de 2004 apresenta diretrizes para a obtenção de veículos aéreos não tripulados e as suas providências. Pegoraro (2013) apresenta as instruções utilizadas no manual do usuário fornecido no drone *mdCockpit* utilizado em seu trabalho, acerca de recomendações para o uso do mesmo em algumas áreas, dentre elas podem ser extraídas as seguintes informações:

- Calcular cuidadosamente o tempo de voo e o tempo necessário para pousar;
- Não voar nas proximidades dos aeroportos, instalações militares ou outras fontes de fortes emissões eletromagnéticas. Permanecer pelo menos a cinco quilômetros de aeroportos;

- Não voar perto de redes elétricas e de pessoas;
- Antes de realizar a decolagem, certificar-se se as hélices estão apertadas. Uma fixação de forma incorreta pode causar correntes de ar que aumentam muito o consumo da bateria e, assim, reduzir o tempo de voo;
- Iniciar o voo com a bateria plenamente carregada;
- Evitar descer em linha reta, especialmente verticalmente. Descer em espiral ou fazendo “zig-zag”. Em uma descida vertical direta, o drone pode se desestabilizar ao se aproximar do chão.
- Ao precisar voar sobre a água, não se deve começar diretamente sobre a água, e sim manter sempre uma altura de pelo menos cinquenta metros acima da superfície.

Luz (2015), afirma que, apesar da ampliação expressiva do estudo a respeito do uso e manuseio dos VANT’S nas últimas três décadas, ainda não existe um senso comum estabelecido que classifique e regulamente os mesmos. De acordo com estudos realizados por Silva (2013), na ausência de normas internacionais fixas, cada país ou conjunto de países vem desenvolvendo regras específicas para que os VANT’s possam ser agrupados em respectivas categorias.

No que diz respeito ao Brasil, a Instrução Suplementar (IS) nº 21/2012 – Revisão A da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2012) considera como sendo VANT, os protótipos que operem a uma altura maior que 121,92 metros acima da superfície terrestre ou além da linha que corresponde ao campo de visão, mesmo que esteja abaixo desta altura. Deve-se considerar também, o peso máximo de decolagem sendo este 25kg, mesmo que esteja operando em uma linha de visada visual e abaixo de 121, 92 metros.

Luz (2015) ainda afirma que as classificações já aceitas a respeito dos VANT’s, levam em consideração os seguintes aspectos:

- Peso máximo de decolagem;
- Autonomia Operacional;
- Distância;
- Altura máxima de voo;
- Energia de impacto no solo.

No que se diz respeito a regulamentação dos voos, nenhum VANT civil tem a permissão de operar em território nacional sem a autorização da ANAC, do departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) e determinados órgãos regulares, sendo um deles referente ao Ministério da Defesa.

No Brasil, existem atualmente três documentos oficializados que abordam sobre a regulamentação dos VANT's no Brasil, sendo estes:

- a) Circular de Informações Aeronáuticas – AIC nº 21/10 – DECEA Setembro/2010: tal circular tem como finalidade estabelecer as informações necessárias para o uso de veículos aéreos não tripulados no Brasil;
- b) Decisão nº 127 – ANAC, Novembro/2011: autorização para operação aérea de Aeronave Remotamente Pilotada do Departamento de Polícia Federal;
- c) Instrução Suplementar nº 21-002 - Revisão A - ANAC, Outubro/2012: Orienta aplicação da seção 21.191 do RBAC 21 (Regulamento Brasileiro de Aviação Civil) para emissão de CAVE (Certificado de Autorização para Voo Experimental) para SISVANT de uso experimental (pesquisa e desenvolvimento, treinamento de tripulações e pesquisa de mercado).

As liberações relacionadas a regulamentação do uso de VANT's para fins comerciais ainda tem sido alvo de discussões por parte da ANAC, apresentada neste item. O encontro mais recente realizado para debater tais aspectos foi realizado em 04 de abril/2017. Contudo, ainda não houve um parecer sobre o uso do VANT para estas finalidades, sendo solicitado um período maior para análises quando a viabilidade deste equipamento para tais objetivos.

2.3.5. VANTAGENS E DESVANTAGENS NA UTILIZAÇÃO DE VANT'S

Luz (2015), afirma que a característica principal de um VANT diz respeito aos baixos custos, tanto operacionais, quanto de aquisição da própria plataforma. Atualmente, a sua utilização em aerolevantamentos de áreas pequenas, tem sido uma ótima opção, uma vez que permite conciliar o baixo custo com a rapidez em que a operação é executada. Tal rapidez tem permitido avaliar em tempo real a qualidade com a qual os dados são obtidos, o que viabiliza que os procedimentos sejam refeitos, podendo corrigir ou melhorar os resultados.

No que diz respeito às imagens aéreas geradas, existe uma grande flexibilidade na forma com a qual as mesmas são processadas, podendo obter as ortofotos digitais de forma automática ou semiautomática, devido, principalmente, aos avanços no desenvolvimento de hardwares e softwares com maiores potenciais.

No que se refere às desvantagens, Luz (2015) ainda menciona que existem limitações que interferem na qualidade do produto final de um aerolevante realizado com VANT'S, sendo estas caracterizadas como:

- a) Peso da câmera fotográfica;
- b) Forma de embarque na plataforma;
- c) Grande distorção geométrica devido à instabilidade posicional do VANT no momento do imageamento;
- d) Grande quantidade de dados utilizados para o processamento;

2.4. FOTOGRAMETRIA A PARTIR DE UM VANT

Brito e Coelho (2002) apresentam a definição da expressão “fotogrametria” de forma etimológica, como sendo “photon (luz), grafos (escrita) e metron (medições). Sendo assim, corresponde a medições executadas por meio de fotografias. Contudo, o consenso geral define o mesmo termo como sendo a ciência e tecnologia de se obter informações confiáveis por meio de imagens adquiridas a partir de sensores e que possuem o objetivo de reconstruir um espaço tridimensional (espaço objeto) através de imagens bidimensionais (espaço imagem). Tais imagens advêm da gravação de padrões de ondas eletromagnéticas, sem o contato físico com objeto de estudo ou alvo de interesse.

Os mesmos autores ainda afirmam que a fotogrametria digital surgiu inicialmente na década de 80, com imagens digitais adquiridas diretamente por uma câmera fotográfica digital, ou por meio da digitalização matricial de uma imagem de formato analógico. Contudo, a fotogrametria digital só foi disseminada de maneira extensiva por volta dos anos 90, devido ao desenvolvimento de ferramentas tecnológicas, como computadores com grande capacidade de armazenamento e processamento dos dados, permitindo a reconstrução automática do espaço tridimensional. Apesar da grande capacidade de automação destas ferramentas, o que se consegue obter de forma efetiva refere-se a um mapeamento semi automático, ou seja, os processos utilizados ainda necessitam da supervisão e intervenção humana quando necessário.

O objetivo da aerofotogrametria corresponde a técnica de se elaborar mapas a partir de fotografias aéreas obtidas através de câmeras aerotransportadas.

Os conceitos e definições abordadas nos tópicos que seguem, são apresentados com enfoque referente a obtenção de fotografias aéreas de pequeno formato a partir de um VANT, utilizando uma câmera digital convencional (não métrica).

2.4.1. PROJETO FOTOGRAMÉTRICO

Na elaboração de um projeto fotogramétrico, são realizadas algumas etapas que são caracterizadas pelos métodos descritos para a obtenção do produto final. Este projeto é obtido por meio de atividades realizadas em campo e em escritório, sendo avaliadas de acordo com métodos apresentados neste trabalho. A etapa prévia de um projeto fotogramétrico consiste na elaboração do planejamento de voo, onde são caracterizadas as atividades iniciais a serem desenvolvidas.

De acordo com Gonçalves et al. (2010) o planejamento da fotogrametria deve ser executado por profissionais capacitados para tal atividade e o equipamento aéreo utilizado para a realização dos voos deve atender a requisitos que viabilizem a sua execução, como a câmeras fotogramétricas e outros instrumentos.

Tomasselli e Ruy (2006), afirmam que os processos para planejamento aerofotogramétrico estão sujeitos a limitações, que se restringe ao longo do tempo, referentes a realização do voo e a parâmetros técnicos, sendo estes: distância focal, recobrimento lateral, recobrimento longitudinal e altura de voo. Tais elementos caracterizam a natureza fotogramétrica da operação.

Nas etapas iniciais para a obtenção destes dados, deve-se observar as condições climáticas da área de estudo utilizada para a realização das atividades, atentando para horários de voo, existência de neblinas, névoas e ventos fortes que interferem na qualidade das fotos adquiridas.

Após o planejamento dos voos e a aquisição das imagens, as etapas do projeto fotogramétrico são descritas da seguinte maneira:

- Apoio de campo;
- Importação e alinhamento das imagens;
- Orientação interior;
- Aerotriangulação;

- Geração do Modelo Digital do Terreno;
- Geração de ortoimagens;
- Geração dos mosaicos fotogramétricos;
- Controle de qualidade dos produtos finais.

As etapas descritas referentes ao projeto fotogramétrico relevantes para este trabalho, são caracterizadas nos próximos itens do mesmo.

Mitishita (2015) apresenta as etapas realizadas em seu trabalho para mapeamento de uma determinada área utilizando VANT, sendo estas descritas pelos seguintes itens.

Recobrimento fotogramétrico

Onde foi definido o tipo de equipamento utilizado neste trabalho e as suas características de acordo com a área de estudo trabalhada, obtenção dos parâmetros de calibração da câmera utilizada no mesmo, quantidade de faixas de voo e tomada das fotografias.

Levantamento de pontos de controle

Foram selecionadas as feições pontuais existentes na imagem que fossem facilmente identificadas no terreno que corresponde a área de estudo.

Aerotriangulação

Procedimento realizado por feixes perspectivos para determinação indireta dos parâmetros de orientação exterior das imagens que formam o bloco fotogramétrico.

Obtenção do Modelo Digital do Terreno

A partir do uso do software específico, foi obtido o Modelo Digital de Superfície característico da área de estudo onde foram realizadas as atividades.

Geração das Ortofotos Digitais

De acordo com os parâmetros de orientação e de orientação exterior obtidos das imagens obtidas e o Modelo Digital do Terreno gerado, foi obtida a ortofoto digital referente ao produto final deste trabalho.

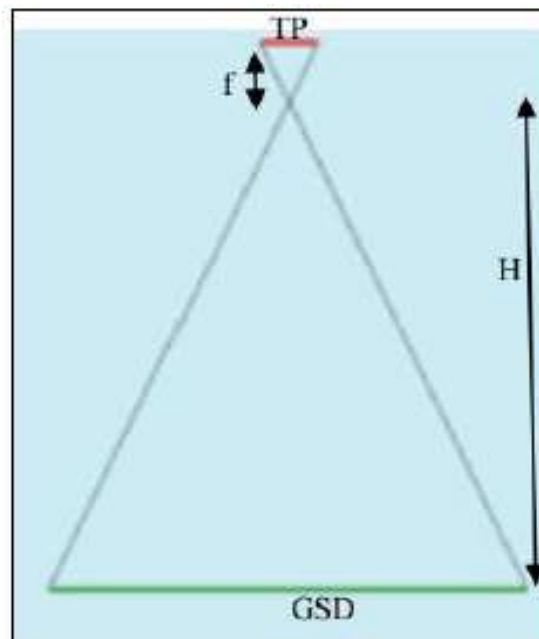
2.4.1.1. Plano de Voo

Para a elaboração dos cálculos de plano de voo, além da delimitação da área e as atenções descritas referentes ao planejamento fotogramétrico é necessário que sejam conhecidos os dados referentes a altitude de voo, a distância no terreno entre a tomada das fotografias sucessivas e o intervalo entre as faixas de voo. No que diz respeito a resolução geométrica de um sistema aerofotogramétrico digital, de acordo com Jubanski et al. (2009) corresponde a um indicativo da sua capacidade de diferenciar objetos próximos. Dessa forma, essa capacidade é utilizado o tamanho do pixel no terreno, (no inglês GSD – *Ground Sampling Distance*).

Luz (2015) afirma que para o cálculo do GSD é necessário considerar tais elementos: Tamanho do pixel no sensor (TP), distância focal da câmera (f) e altura de voo (H).

Santos (2014) considera que a distância focal da câmera corresponde a distância entre o sensor e o centro óptico da câmera e a altura de voo diz respeito a distância entre o sensor e a superfície física da Terra. A figura 6 ilustra tais relações.

Figura 6: Relação entre a distância focal da câmara, tamanho do pixel e altura de voo, para o cálculo do GSD



Fonte: Santos (2014)

Baseado na figura 6 o mesmo autor ainda estabelece a semelhança de triângulos para determinar o tamanho do pixel no terreno que corresponde ao GSD. Dessa forma, tem-se que a razão entre o GSD e o tamanho do pixel corresponde a razão entre altura de voo e a distância focal da câmera digital, como exibem as equações (1) e (2).

$$\frac{GSD}{TP} = \frac{H}{f} \quad (1)$$

$$GSD = \frac{H \cdot TP}{f} \quad (2)$$

Onde:

- TP = Tamanho físico do pixel no CCD (mm);
- F = Distância focal;
- H = altura de voo (m).

2.4.1. GEOMETRIA DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS

Segundo Wolf (2004), as fotografias aéreas verticais são obtidas com o eixo da câmera direcionado da forma mais vertical possível. Dessa forma, caso o eixo da câmera esteja perfeitamente na vertical no momento da tomada da fotografia, o plano fotográfico estará paralelo de referência e o produto resultante será denominado de vertical verdadeira. Contudo, em aplicações práticas, o eixo da câmera raramente encontra-se perfeitamente posicionado na vertical, isso ocorre principalmente, devido a inclinação gerada na aeronave. Tais inclinações nas fotografias, geram o que é chamado de fotografia inclinada. Wolf (2004) ainda caracteriza que tais inclinações decorrentes são, normalmente menores que um grau e dificilmente maiores que três graus.

De acordo com Luz (2015), uma fotografia aérea convencional tem sua forma de obtenção por meio de câmaras fotográficas métricas que estão acopladas em aeronaves comuns. Tratando-se destes mesmos produtos obtidos por VANT utilizam-se câmeras fotográficas digitais convencionais, também chamadas de não métricas. O mesmo autor ainda enfatiza que o sistema de lentes e as próprias câmeras digitais não são construídas para apresentar alta qualidade e exatidão quando comparados em relação às câmeras métricas convencionais. Dessa forma, o recobrimento aéreo é denominado aerofotogramétrico quando utiliza câmeras métricas e aerofotográfico quando provém de câmeras não métricas.

Santos (2013), apresenta algumas vantagens que as câmeras não métricas possuem em relação às métricas, caracterizadas da seguinte forma:

- Menor peso e facilidade de manejo;
- Flexibilidade na integração dos sistemas GNSS e inercial;

- Disponibilidade no mercado;
- Facilidade na execução e repetição de voos constantes;
- Maior riqueza de detalhes dos elementos, devido à baixa altitude em que são tomadas as fotografias;
- Diminuição dos custos de aquisição.

De forma sequencial e análoga, o mesmo autor ainda traz as desvantagens em se obter fotografias a partir de VANTs, sendo elas: a variação de controle nas fotografias, relacionadas devido à baixa precisão no conhecimento da posição e orientação no momento em que a fotografia é tomada; a ausência da verticalidade do eixo óptico da câmera; a falta de estabilidade da plataforma aérea devido a condições de vento; e a necessidade de se obter a correta focalização do objeto (ajustar as lentes para infinito) para evitar deslocamentos da lente.

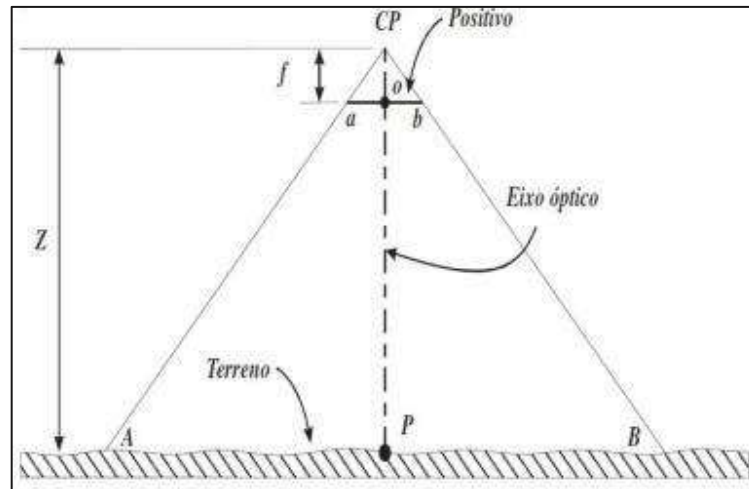
Silva et al. (2005) também apresentam algumas desvantagens relacionadas às câmeras não métricas, sendo elas:

- Necessidade de maior quantidade de imagens afim de cobrir a mesma área;
- Distorções geométricas significativas;
- Dificuldades em se obter a sobreposição corretamente estabelecida inicialmente;
- Dificuldade na manutenção da rota e estabilidade durante o voo devido a maiores turbulências em voos de altitude baixa;

Martins (2010) afirma que as câmeras digitais convencionais possuem dispositivos pequenos quando analisados em relação às câmeras métricas, sendo estes: distância focal, tamanho das lentes, tamanho do sensor e tamanho do corpo da câmera.

Reiss (2008), ilustra a relação geométrica existente entre uma fotografia e a cena fotografada da figura 7.

Figura 7: Relação Geométrica da Fotografia Vertical



Fonte: Reiss (2008)

De acordo com os parâmetros exibidos na figura 7 que apresenta a fotografia vertical, seus parâmetros são correlacionados de acordo com a equação (3).

$$\frac{f}{Z} = \frac{ab}{AB} \quad (3)$$

Onde:

f = Distância focal;

AB = Distância medida no terreno;

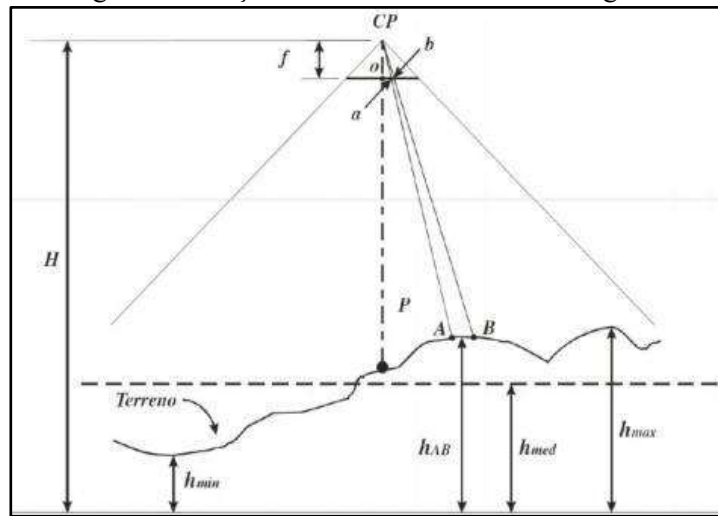
ab = Distância medida na imagem;

Z = Distância câmera-objeto (altitude do voo).

A equação (1) exemplificada a partir da Figura 6, são utilizados os parâmetros considerando que a superfície do terreno seja plana, contudo Reiss (2008) apresenta a equação que deve ser utilizada em uma superfície irregular, atrelada a relação geométrica, exibida na figura 8 e na equação 4.

$$\frac{f}{H-h_{AB}} = \frac{ab}{AB} \quad (4)$$

Figura 8: Relação Geométrica em terreno irregular



Fonte: Reiss (2008)

Onde:

H = Altitude do ponto no momento em que a fotografia é tomada;

h_{AB} = Média das altitudes A e B referentes ao terreno.

2.4.1. PARÂMETROS DE ORIENTAÇÃO DAS CÂMERAS

2.4.1.1. Orientação Interior

De acordo com Brito et al. (2002), a orientação interior diz respeito a reconstrução do feixe perspectivo, dessa forma trata-se do referenciamento de uma determinada imagem em relação a câmera. Quando ocorre a tomada das fotografias, as imagens obtidas encontram-se isoladas uma das outras, sem possuir informação métrica alguma, ou seja, é utilizado apenas o sistema de coordenadas em pixels correspondente às imagens digitais. Existe a necessidade da reconstrução do sistema interno da câmera-imagem que corresponde ao momento em que as fotografias foram obtidas para que possam ser efetuados os cálculos e medidas precisas sobre as imagens fotográficas. Os mesmos autores ainda enfatizam que, de forma conceitual, a orientação interior trata em posicionar as imagens, uma a uma, na posição similar que apresentavam dentro da câmera, no momento da tomada das fotografias.

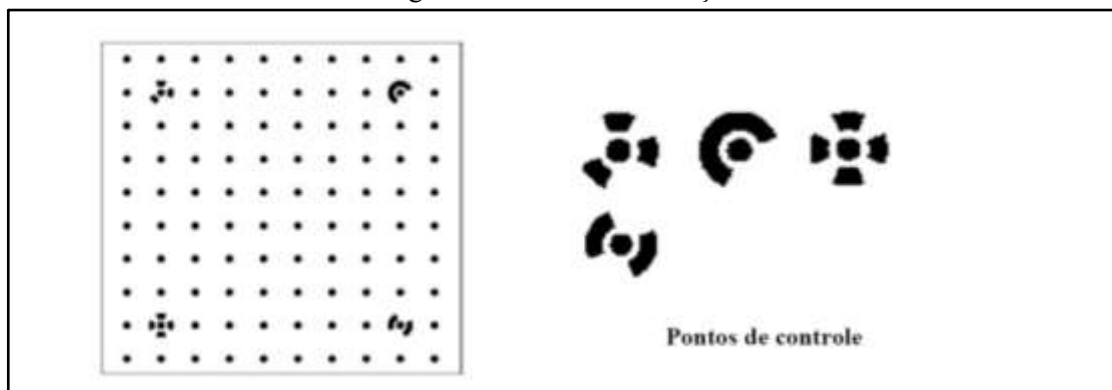
Ferreira (2014), caracteriza os parâmetros de orientação interior como estando relacionados ao sistema ótico e do sensor da câmera, sendo eles:

- a) Distância focal;
- b) Parâmetros de distorção radial;
- c) Parâmetros de distorção descentrada;
- d) Posição da coordenada central na imagem.

O mesmo autor ainda especifica que tais parâmetros devem ser obtidos durante o processo de calibração, onde os resultados encontrados são utilizados para a correção de distorções nas imagens fotográficas.

Para a calibração da câmera, neste trabalho, utilizou-se o software *Photomodeler Pro* Lima (2014) afirma que este *software* corresponde a um sistema fotogramétrico digital para processamento de imagens a curta distância, gerar modelos tridimensionais e realizar cálculos de área e volume dos objetos de estudo. É também empregado para a determinação dos parâmetros de calibração de câmeras digitais onde, por meio de uma grade de calibração (exibida na figura 9) que corresponde a um padrão de pontos fornecidos pelo próprio *software* e que são reconhecidos pelo mesmo automaticamente. Suas posições são medidas por meio da tomada da mesma fotografia em posições diferentes e que são utilizadas para obter os modelos matemáticos correspondentes ao *Photomodeler Pro*.

Figura 9: Grade de Calibração



Fonte: Almeida (2014)

2.4.1.2. Orientação exterior

De acordo com Luz (2015), o objetivo principal referente a orientação exterior trata-se da obtenção da posição e atitude de cada fotografia em relação ao referencial do espaço objeto. Dessa forma, afirma-se que uma determinada imagem está orientada externamente caso sejam

conhecidos os seis parâmetros de orientação exterior da mesma, sendo estes referentes as coordenadas no espaço-objeto para o centro de perspectiva e os ângulos de rotação ou atitude do sensor (ω, φ, κ).

O mesmo autor afirma que existem seis parâmetros de orientação exterior (POE) que localizam a imagem no espaço. Tais parâmetros são caracterizados da seguinte forma:

- X_{cp}, Y_{cp}, Z_{cp}

Dizem respeito as posições do centro de perspectiva nos eixos X, Y e Z, respectivamente, do sistema de coordenadas relacionadas ao espaço objeto.

- ω, φ, κ

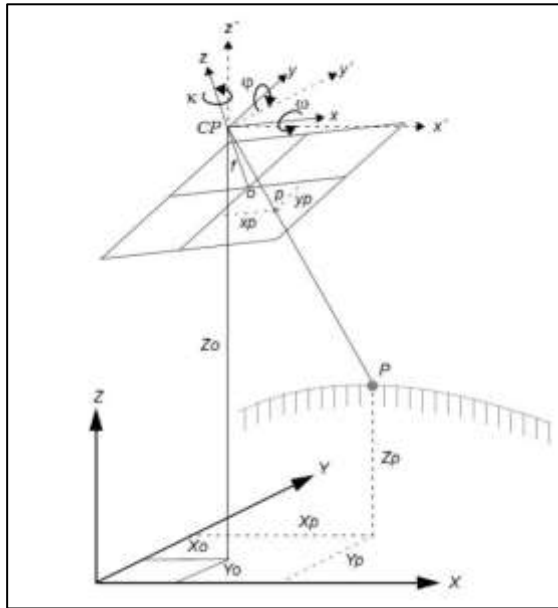
Conhecidos como ângulos de Euler, tais ângulos representam as rotações geradas pelo sistema local de coordenadas x,y,z de cada câmera em relação ao sistema global do terreno X,Y,Z.

Segundo Brito, et al. (2002) os ângulos (ω, φ) são caracterizados pela rotação do eixo x e y em relação a X e Y, sendo contados no sentido anti-horário e não ultrapassando cinco graus em valor absoluto. Por sua vez, o ângulo (κ) refere-se à rotação do eixo z em relação a Z e o sentido da mesma também se caracteriza por ser anti-horário.

Reiss (2007), afirma que a orientação exterior pode ser determinada indiretamente através de um conjunto de fotografias, agrupadas em blocos ou modelos, ou por meio do processo de resseção espacial, onde cada foto é considerada de forma isolada. Para a realização da orientação exterior utiliza-se o modelo matemático de colinearidade, onde são relacionados o centro de perspectiva, o ponto medido na imagem e o mesmo ponto localizado no espaço-objeto.

Palermo, et al. (2013) apresentam as equações de colinearidade como sendo a relação entre o espaço-imagem e o espaço-objeto. Dessa forma, deve-se existir uma reta comum que ligue o centro de perspectiva da câmera (O), um ponto no sistema fotogramétrico (p) e o ponto homólogo no espaço imagem. A figura 10 especifica tal condição de colinearidade apresentada.

Figura 10: Condição de Colinearidade – Orientação Exterior



Fonte: Palermo (2013)

Luz (2015), afirma que a Equação da Colinearidade expressa que, independente dos ângulos de atitude (ω , φ , κ) que a câmera tenha assumido no espaço, no momento da tomada da fotografia, o feixe luminoso é descrito por uma reta que parte do ponto no terreno (X , Y , Z) e a posição espacial do centro ótico da câmera (X_{cp} , Y_{cp} , Z_{cp}) no momento da tomada da mesma. Dessa forma, as equações 5 e 6 exibem o par de equações representando cada ponto da fotografia descrita. Os coeficientes m_{11} até m_{33} representam as matrizes de rotação.

$$x = -f \cdot \frac{m_{11}(X - X_{cp}) + m_{12}(Y - Y_{cp}) + m_{13}(Z - Z_{cp})}{m_{31}(X - X_{cp}) + m_{32}(Y - Y_{cp}) + m_{33}(Z - Z_{cp})} \quad (5)$$

$$y = -f \cdot \frac{m_{21}(X - X_{cp}) + m_{22}(Y - Y_{cp}) + m_{23}(Z - Z_{cp})}{m_{31}(X - X_{cp}) + m_{32}(Y - Y_{cp}) + m_{33}(Z - Z_{cp})} \quad (6)$$

2.4.2. AEROTRIANGULAÇÃO

De acordo com Pegoraro (2013), a aerotriangulação consiste em um conjunto de operações que permitem orientar uma determinada cobertura fotográfica de um objeto, de modo a formar um modelo composto por vários modelos parciais (blocos), matematicamente

semelhantes ao objeto, com um apoio geodésico. Sendo assim, consiste em determinar por meio de processos matemáticos as coordenadas dos pontos comuns de entre duas fotografias sobrepostas, no mesmo sistema de referência utilizado para os pontos de apoio terrestre.

Mitishita (1986), caracteriza a aerotriangulação como sendo considerado o método de maior aplicabilidade na extensão do controle para a orientação absoluta dos modelos fotogramétricos referentes a restituição fotogramétrica.

Segundo Andrade (1998) apresenta o conceito de aerotriangulação como sendo referente a uma técnica fotogramétrica utilizada para a determinação de coordenadas de pontos em um referencial específico, onde o objetivo maior consiste no fornecimento de coordenadas precisas para os pontos necessários que seja realizada a orientação absoluta de modelos fotogramétricos referentes a restituição ou a elaboração das ortofotos.

Silveira e Brito (2004), afirmam que o processo de resseção espacial consiste na obtenção das coordenadas do centro de perspectiva e os ângulos de atitude do sensor no instante em que é adquirida a imagem, a partir da utilização de três pontos de controle. Este procedimento é possível, conhecendo-se os parâmetros de orientação interior. Por sua vez, a interseção espacial possibilita que sejam obtidas coordenadas tridimensionais de um ponto no terreno, por meio das coordenadas bidimensionais referentes ao espaço-imagem. Mikhail et al. (2001), afirma que as operações de resseções e interseções espaciais são realizadas de forma conjunta na etapa de aerotriangulação, onde as orientações das fotografias e as coordenadas dos pontos são determinadas simultaneamente, embora a resseção seja mais utilizada a fim de gerar determinadas aproximações que sejam viáveis para aplicação das etapas do ajustamento.

Palermo e Leite (2013) afirmam que para que seja possível realizar o processo de aerotriangulação, existe a necessidade de levantamento de pontos controle que sejam comuns nas fotografias, os chamados pontos de ligação. Os mesmos autores ainda denominam a aerotriangulação como sendo sinônimo de aerotriangulação para o caso de um levantamento fotogramétrico.

Silveira e Brito (2004), afirmam que a aerotriangulação pode ser executada pelo método de ajustamento por feixes perspectivos. Tal método permite que a aerotriangulação possa ser executada para todas as imagens compostas no espaço-imagem e para todos os pontos contidos nas mesmas em um processo único, permitindo que seja reconstruída a geometria dos feixes de raios luminosos que formam o espaço imagem no momento da tomada das fotografias.

Os mesmos autores ainda caracterizam que tal processo utiliza o método dos mínimos quadrados (MMQ) para que a função que quantifica o desvio-padrão do ajustamento seja

minimizada, dessa forma, para cada ponto ajustado, é originada é relacionada a sua posição no espaço-objeto em relação ao seu homologo no espaço imagem, de acordo com a posição do centro de perspectiva.

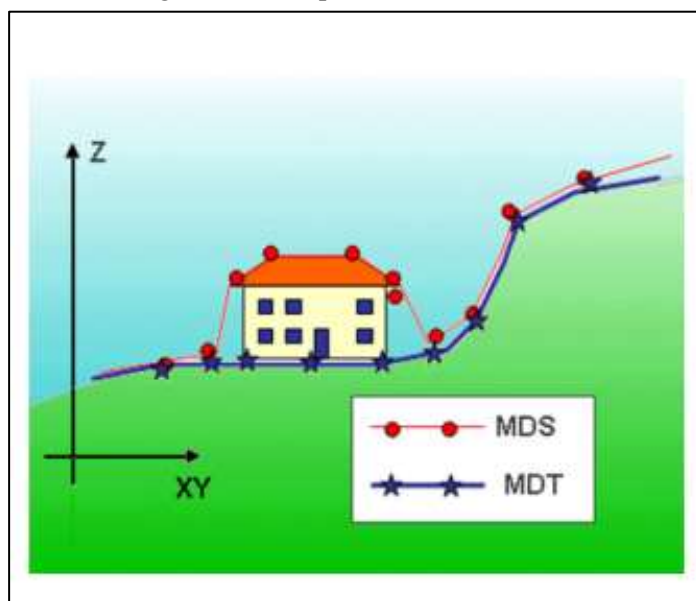
2.4.3. MODELO DIGITAL DO TERRENO

Modelar um terreno significa reproduzir a sua forma, sendo que o conhecimento do modelo digital do terreno é um dos requisitos necessários para a elaboração de uma ortofoto digital. Existem inúmeras maneiras de se modelar a superfície de um terreno, onde no processo de interpolação de altitudes é que se permite definir e determinar a superfície que se pretende modelar (ANDRADE, 2003).

Um Modelo Digital de Superfície (MDS) caracteriza-se como uma determinada representação numérica para uma superfície física da porção do terreno a ser representada

Luz (2015) afirma que a característica de um terreno referenciado, diz respeito ao relevo que pode ser estimado de acordo com a sua cota ou altitude. Dessa forma, a expressão referente a Modelo Digital de Elevação (MDE), refere-se aos modelos que consideram como característica do terreno, aspectos referentes a elevação, ou seja, representa o que está acima do relevo. Um MDS pode ser atribuído como sendo um MDE quando exprime altitudes, permitindo identificar elementos referentes a edificações e árvores. A figura 11 exhibe um comparativo da captura de alvos da superfície terrestre, na construção de um MDT em relação a um MDS.

Figura 11: Comparação MDS e MDT



Fonte: Ferreira, 2016

De acordo com Zanardi (2006), para a correta representação de uma superfície real em um meio digital (computador), é fundamental que seja elaborado e criado um modelo digital que pode ser representado por equações e modelos matemáticos ou por uma determinada grade de pontos, de modo que seja viável ao usuário as características relacionadas ao terreno.

Luz (2015) destaca ainda que no processo de elaboração de um Modelo Digital de Terreno (MDT), devem ser compreendidas três etapas, sendo estas:

- Obtenção de Dados (amostras);
- Geração de Grandes;
- Elaboração dos produtos que caracterizam as informações obtidas

2.4.3.1. Obtenção de amostras

A obtenção das amostras pode ser considerada uma das etapas mais importantes do processo de geração do MDT, uma vez que diz respeito a aquisição de um conjunto de amostras que caracterizam as variações existentes nas características espaciais de uma determinada área, bem como as variações apresentadas na mesma.

De acordo com Felgueiras (2001), uma amostragem de pontos em uma determinada área não pode ser insuficiente (subamostragem) nem redundante (superamostragem). A subamostragem, por falta de informações suficientes pode acarretar a geração de um produto inconsistente, por sua vez a superamostragem, pode ocasionar sobrecarga no sistema de processamento dos dados por acúmulo excessivo de memória. O mesmo autor ainda aborda que o cuidado a ser tomado na escolha das amostras, está diretamente relacionado com a qualidade a ser obtida no produto final, de acordo com a qualidade dos modelos que se desejam obter.

Segundo Rocha (2000), na realização do processo de obtenção de amostras, os pontos levantados devem ser representativos da topografia ou da superfície de interesse, procurando cobrir a área, de acordo com a densidade necessária para a área de estudo. Dessa forma, os pontos a serem considerados na amostragem, são descritos no terreno devem ser considerados da seguinte forma:

- a) Pontos notáveis;
- b) Linhas de Estrutura;
- c) *Breaklines*;

d) Materialização em áreas planas.

2.4.3.2. Geração de grades

Para que um MDT possa ser gerado, existem duas estruturas de malhas que podem ser utilizadas em sua construção, sendo estas a malha retangular e a rede triangular irregular (*TIN – Triangular Irregular Network*). De acordo com Almeida (2014), uma malha retangular consiste em um poliedro de faces retangulares, onde a criação da grade regular é feita estimando os valores de cota de cada ponto, através do conjunto de valores de entrada. Os vértices dos poliedros criados, podem ser referentes aos pontos amostrados, uma vez que tenham sido obtidos nas mesmas localizações (x; y) que definem a grade de interesse. A malha regular é a estrutura mais utilizada quando o interesse é a representação do relevo, dessa forma, cada célula possui o valor médio da elevação, onde é armazenada uma matriz bidimensional.

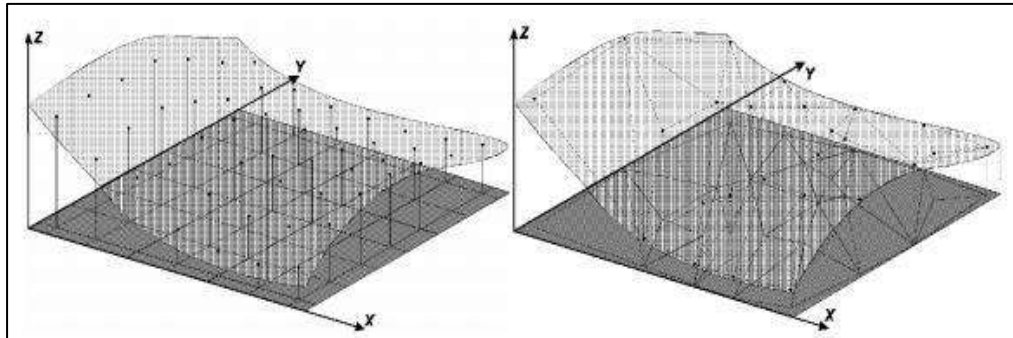
De acordo com Benda et al. (2006), o modelo retangular permite a otimização do armazenamento dos dados, contudo a uniformidade da dimensão dos pixels associados apresenta determinadas limitações na representação do modelo digital de elevação, inviabilizando que as características fisiológicas do relevo sejam levantadas com diferentes níveis de detalhes. O mesmo autor ainda caracteriza como principais desvantagens das malhas regulares como sendo a redundância de dados em áreas que possuem a superfície uniforme, elevada necessidade de armazenamento e a dificuldade de adaptar tal modelo para a representação de relevos complexos, sem que ocorra a redução do tamanho das células.

Segundo Luz (2015), no que diz respeito às grades irregulares, estas são utilizadas quando se necessita de maior precisão na realização de uma análise quantitativa dos dados. Tal malha corresponde a um poliedro de faces triangulares. De acordo com Felgueiras (2001), em um modelo formado por uma grade irregular triangular, os pontos referentes as amostras, são conectados por linhas para que sejam formados triângulos. Dessa forma, diferentemente de uma grade regular, não existe a necessidade da estimativa dos valores de cota por meio do uso de interpoladores. Os critérios adotados para a construção da rede triangular podem-se chegar a malhas uniformes sobre o mesmo conjunto de amostras.

Esse tipo de estrutura permite-se criar linhas de descontinuidade referentes a acidentes geográficos, permitindo aumentar as informações do MDT. De acordo com Almeida (2014), a desvantagem relacionada a esta malha está ligada a complexidade em obter os dados, sendo mais demorados que as malhas de grade regular.

A Figura 12 apresenta um exemplo de grade regular, na imagem da esquerda e de grade irregular, exibida na direita.

Figura 12: Comparativo entre malha irregular e regular



Fonte: Zanardi (2006)

2.4.3.3. Structure from Motion (SfM)

O SfM é uma das principais técnicas utilizadas nos softwares de equipamentos de VANT. De acordo com Paoli e Trindade (2015) é denominada de *Structure from Motion* (SfM) a técnica utilizada que permite obter a extração de feições tridimensionais (3D) a partir de imagens estáticas obtidas em duas dimensões (2D). Dessa forma, a partir de um conjunto de fotografias de uma determinada área, processadas por meio de um software específico, é possível obter uma estrutura 3D dos alvos capturados. O mesmo autor ainda afirma que a aplicação desta técnica surgiu da simplicidade do seu uso e o baixo custo em relação aos equipamentos utilizados para a sua obtenção, quando comparado em relação a outros métodos. Além disso, a grande quantidade de pontos gerados por esta técnica permite gerar uma boa representação do terreno. Os modelos tridimensionais podem ser gerados a partir de uma câmera fotográfica associada a um equipamento de medição eletrônica de distância.

Paoli e Trindade (2015) apresentam um método que explica a reconstrução 3D, sendo dividida de acordo com estas etapas:

- 1) Determinação de inúmeras feições características em cada imagem;
- 2) Identificação dos emparelhamentos (*matching*) das feições correspondentes;
- 3) Determinação de uma estimativa inicial da estrutura da cena e a movimentação relativa da câmera;
- 4) Calibração da câmera;
- 5) Adensamento da nuvem de pontos (*dense cloud*);

6) Geração do modelo tridimensional por meio de rede triangular.

2.4.4. GERAÇÃO DE ORTOFOTOS DIGITAIS

De acordo com Palermo e Leite (2013), a projeção de uma determinada fotografia em perspectiva, consiste no momento em que os raios de luz que caracterizam e definem um determinado objeto no plano da imagem se interceptam no centro de perspectiva. No que diz respeito a uma fotografia aérea, a projeção perspectiva faz com que seja ocasionado o efeito do deslocamento do relevo, onde pontos que possuem a mesma posição planimétrica, mas com diferentes altitudes, são representados em posições diferentes.

Segundo Lima et al. (2010), as fotografias em seu estado bruto, não conseguem substituir determinados tipos de produtos oriundos de projetos de mapeamento, uma vez que a tomada da fotografia representa uma realidade gerada a partir de uma projeção cônica central, diferentemente de uma projeção ortogonal a superfície mapeada.

Luz (2015), afirma que o princípio básico relacionado a produção de uma ortofoto digital consiste no processo de eliminação dos deslocamentos devido a inclinação e ao relevo, das fotografias em perspectiva que forma uma imagem única. Dessa forma, na ortofoto gerada, podem ocorrer variações na posição planimétrica dos elementos que compõem a área mapeada, como é o caso de edificações, camadas de relevo, desidade vegetativa, etc. E ,em escala, também podem ocorrer estas variações nos pontos que formam a ortofoto.

De acordo com Arruda Jr. (2002), a forma de obtenção das ortofotos é dada através de dois métodos, sendo estes o método direto e o indireto. O mesmo autor caracteriza o método direto como sendo a projeção dos pixels da imagem de entrada para a ortofoto digital, onde são aplicadas as correções dos erros sistemáticos por meio da equação de colinearidade inversa, permitindo gerar uma malha irregular no referencial da ortofoto digital.

Arruda Jr. (2002) apresenta as três etapas utilizadas no método direto, sendo elas:

- a) Transformação do referencial da imagem digital para o referencial fotogramétrico;
- b) Transformação do referencial fotogramétrico para o referencial da ortofoto digital;
- c) Reamostragem da malha da ortofoto digital.

Por sua vez, segundo Arruda Jr. (2002), o método indireto consiste, inicialmente, em buscar pixels da ortofoto digital na imagem original, por meio da equação da colinearidade

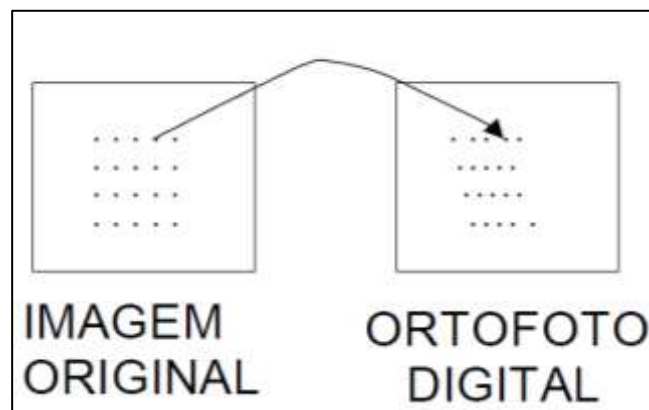
direta, e um processo inverso de correção de erros sistemáticos. O mesmo autor enfatiza que é necessário a introdução de todos os erros sistemáticos, para que sejam localizados na imagem bruta, a posição correta do ponto projetado. Dessa maneira, posteriormente existe a necessidade de aplicar algum método de interpolação dos tons de cinza, uma vez que, os pixels da malha regular da ortofoto digital não estão posicionados de forma correspondente ao centro do pixel na imagem de entrada.

Arruda Jr. (2002), apresenta as etapas do método indireto como sendo:

- a) Transformação de pixels do referencial da ortofoto digital para o referencial fotográfico;
- b) Transformação do Referencial fotográfico para o referencial da imagem digital, a partir da posição altimétrica de um ponto na ortofoto por meio do MDT;
- c) Reamostragem Radiométrica.

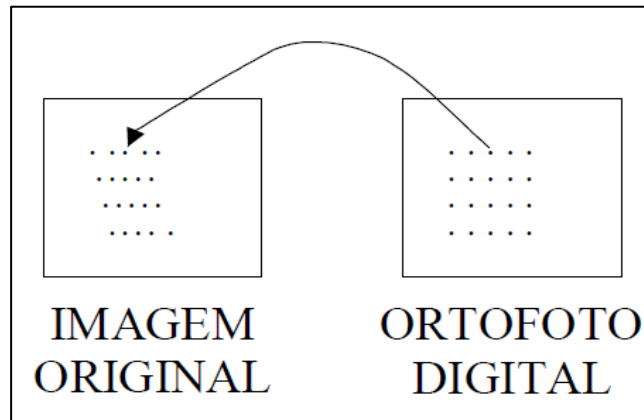
As figuras 13 e 14 exibem os princípios da aplicação dos métodos direto e inverso, respectivamente, de acordo com os produtos relacionados aos mesmos.

Figura 13: Princípio do método direto



Fonte: Arruda Jr. (2002)

Figura 14: Princípio do método indireto



Fonte: Arruda Jr. (2002)

2.4.5. QUALIDADE DA IMAGEM

De acordo com Jorge (2003), a nitidez das imagens obtidas a bordo de uma aeronave depende do quão estável da aeronave em voo. Dessa forma, aeronaves menores possuem pouca estabilidade e apresentam maior vibração mecânica do que as aeronaves em tamanho real. Quanto menor for o tempo de exposição na aquisição de uma imagem, maior a possibilidade de que seja obtida uma imagem nítida com a aeronave em movimento e sujeita a vibrações.

Nesta perspectiva, o mesmo autor afirma que os fatores que afetam a qualidade de imagens obtidas são:

- Sensibilidade do elemento capturador de imagem;
- Abertura do Diafragma;
- Tempo de Exposição;
- Condições de Iluminação do Local;
- Velocidade horizontal da aeronave;
- Vibração linear da aeronave na direção dos eixos de arfagem e rolagem;
- Vibração angular da aeronave em relação aos eixos de arfagem, rolagem e guinada.

2.5. CONTROLE DE QUALIDADE

De acordo com Antunes e Lingnau (1997), um determinado projeto de mapeamento só deve ser utilizado como fonte precisa de informações caso seja associado a processos que avaliem a acurácia dos dados compostos no mesmo. Dessa forma, a análise de padrões que avaliem a acurácia de um determinado produto cartográfico esteja relacionada aos parâmetros que dizem respeito processos de entrada, edição e controle de qualidade do mesmo, uma vez que, o intuito é o fornecimento do dado real referente a informação cartográfica digital.

Thapa e Bossler (1992), afirmam que a qualidade de dados espaciais de um mapeamento é efetuada a partir de cinco componentes principais, sendo estes:

- Completude;
- Consistência lógica;
- Exatidão posicional;
- Exatidão temporal;
- Exatidão temática.

Roberto (2013), afirma que, tratando-se da avaliação da qualidade de dados de uma determinada informação geográfica para um determinado tipo de produção cartográfica ou para alimentação de um SIG, a qualidade posicional deve ser considerada em primeira instância. O mesmo autor ainda afirma que a ampliação da visão do conceito de qualidade da informação geográfica tem se tornado alvo de grandes preocupações na elaboração de mapeamentos digitais, uma vez que, durante o processo de produção destas informações georreferenciadas a realização do controle de qualidade é uma das principais etapas.

De acordo com Andrade (2003), o termo exatidão cartográfica é visto como sinônimo de acurácia, que representa o afastamento posicional de um determinado elemento em um produto cartográfico em relação ao seu homólogo no terreno. Por sua vez, a precisão representa a dispersão dos valores observados, neste caso, dos erros dos pontos em uma carta.

Dessa forma, segundo Damolin e Leal (2001), os testes estatísticos para avaliar a precisão não possuem o objetivo de determinar os erros de forma isolada, mas considerá-los como um conjunto de erros que baseiam na análise do desvio padrão. Os testes de acurácia também são realizados a partir da observação do erro médio cometido entre o posicionamento das feições e as suas posições equivalentes, dando credibilidade ao produto gerado.

2.5.1. PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA

Para avaliação de dados cartográficos obtidos de acordo com as características e padrões de qualidade pré-determinados foi criado o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC visando assim, classificar os aspectos de determinado produto cartográfico de acordo com os fatores e métodos utilizados em sua obtenção.

Dessa forma, na elaboração de um projeto cartográfico deve-se levar em conta os aspectos do local e escala que se deseja obter o mesmo e a partir dos atributos do PEC, classificar determinado produto gerado de acordo com as suas especificações.

O Decreto nº 89.817 (BRASIL, 1984) atesta que o erro máximo que pode ser encontrado referente à disposição dos pontos em um produto cartográfico gerado no que diz respeito a exatidão das feições representadas, de é que 90% dos pontos utilizados para esta análise não deverão apresentar erros superiores aos estabelecidos pelo PEC, tanto os referentes a altimetria quanto a planimetria. O Erro Padrão é determinado de acordo com as análises realizadas no produto cartográfico e de acordo com os métodos estatísticos utilizados em sua elaboração, onde a probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o Erro Padrão. O Erro Padrão Isolado, seja por um ponto ou feição do projeto cartográfico, não deve ultrapassar 60,8% do PEC estabelecido.

Sendo assim, o Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico onde a partir do gráfico probabilístico de distribuição normal pode ser representado com uma probabilidade de 90% de acordo com a dispersão estatística considerada.

O PEC de 1984 estabelece que os produtos cartográficos podem ser classificados de acordo com a sua exatidão nas Classes A, B e C, representadas na tabela 1 abaixo:

Tabela 1: Critério do PEC

Carta	PEC Planimétrico (mm)	Erro Padrão Planimétrico (mm)	PEC Altimétrico	Erro Padrão Altimétrico
Classe A	0,50 x Fator de Escala	0,30 x Fator de Escala	0,50 x Equidistância	0,33 x Equidistância
Classe B	0,80 x Fator de Escala	0,50 x Fator de Escala	0,60 x Equidistância	0,40 x Equidistância
Classe C	1,00 x Fator de Escala	0,60 x Fator de Escala	0,75 x Equidistância	0,50 x Equidistância

Fonte: SANTOS, et al, 2010, p.2.

De acordo com Luz (2015), em junho de 2011, foi criada pela Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR) a norma Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV). O objetivo desta especificação é atualizar os padrões vistos no Decreto Lei nº 89.817, uma vez que, a mesma já não atendia as necessidades atuais aplicadas em meio digital. Então, passou-se a considerar que os avanços tecnológicos eliminaram os erros gerados pelos processos realizados antigamente e inserindo os erros caracterizados pelos processos atuais.

Foi criada pela ET-ADGV (CONCAR-EB, 2011) um novo indicador estatístico, o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD). Tal indicador continua sendo calculado por meio do produto do desvio padrão e utilizando a constante de 1,6449 com nível de confiança em 90%. O PEC-PCD é organizado de forma mais rigorosa, criando uma nova classe para a avaliação da acurácia, a classe D e as outras classes A, B e C passaram a ser utilizadas conforme exibem as especificações dos quadros 2 e 4 deste item. Dessa forma, os produtos passam a ser classificados de acordo com as classes A, B, C e D.

Para realizar a avaliação de um produto cartográfico digital de acordo com a ET-ADGV é necessário realizar o cálculo do PEC-PCD e comparar os valores correspondentes à escala do produto cartográfico obtido. As escalas apresentadas pelo PEC-PCD correspondem aos seguintes valores: 1:1.000, 1:2.000, 1:5.000, 1:10.000, 1:25.000, 1:50.000, 1:100.000 e 1:250.000. A norma não especifica como devem ser realizados os cálculos da quantidade de amostras a serem utilizadas para controle de qualidade, bem como, não especifica a avaliação das coordenadas planimétricas obtidas.

No quadro 3 se encontram os valores adotados no PEC-PCD Planimétrico e o respectivo Erro Padrão para as mesmas. As classes “B”, “C” e “D” correspondem, nessa ordem, as classes “A”, “B”, “C” do PEC Planimétrico referentes ao Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984.

Quadro 3: Padrão de Exatidão Cartográfica da planimetria dos produtos cartográficos digitais

PEC ⁽¹⁾	PEC - PCD	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000		1:25.000		1:50.000		1:100.000		1:250.000	
		PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
-	A ⁽²⁾	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85	2,80	1,70	7,00	4,25	14,00	8,51	28,00	17,02	70,00	42,55
A	B ⁽¹⁾	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50	5,00	3,00	12,50	7,50	25,00	15,00	50,00	30,00	125,00	75,00
B	C ⁽¹⁾	0,80	0,50	1,60	1,00	4,00	2,50	8,00	5,00	20,00	12,50	40,00	25,00	80,00	50,00	200,00	125,00
C	D ⁽¹⁾	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00	10,00	6,00	25,00	15,00	50,00	30,00	100,00	60,00	250,00	150,00

Fonte: CONCAR-EB (2011).

O quadro 4 exibe o PEC-PCD para os Modelos Digitais de Terreno (MDT), Modelos Digitais de Elevação (MDE) e Modelos Digitais de Superfície (MDS) e para os pontos cotados.

Quadro 4: Padrão de Exatidão Cartográfica altimétrica dos pontos cotados, MDT, MDE e MDS

PEC - PCD ⁽³⁾	1:1.000 (Eqd = 1 m)		1:2.000 (Eqd = 1 m)		1:5.000 (Eqd = 2 m)		1:10.000 (Eqd = 5 m)		1:25.000 (Eqd = 10 m)		1:50.000 (Eqd = 20 m)		1:100.000 (Eqd = 50 m)		1:250.000 (Eqd = 100 m)	
	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	0,27	0,17	0,27	0,17	0,54	0,34	1,35	0,84	2,70	1,67	5,50	3,33	13,70	8,33	27,00	16,67
B	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,66	2,50	1,67	5,00	3,33	10,00	6,66	25,00	16,66	50,00	33,33
C	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80	3,00	2,00	6,00	4,00	12,00	8,00	30,00	20,00	60,00	40,00
D	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00	3,75	2,50	7,50	5,00	15,00	10,00	37,50	25,00	75,00	50,00

Fonte: CONCAR-EB (2011).

No quadro 5 se encontram os valores adotados no PEC-PCD Altimétrico e o respectivo Erro Padrão. As classes “A”, “B” e “C” correspondem, nessa ordem, as classes “A”, “B”, “C” do PEC Planimétrico referentes ao Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984.

Quadro 5: Padrão de Exatidão Cartográfica da altimetria (curvas de nível) dos produtos cartográficos digitais

PEC ⁽¹⁾	PEC-PCD	1:1.000 (Eqd = 1 m)		1:2.000 (Eqd = 1 m)		1:5.000 (Eqd = 2 m)		1:10.000 (Eqd = 5 m)		1:25.000 (Eqd = 10m)		1:50.000 (Eqd = 20m)		1:100.000 (Eqd = 50m)		1:250.000 (Eqd = 100m)	
		PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	A	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,67	2,50	1,67	5,00	3,33	10,00	6,67	25,00	16,67	50,00	33,33
B	B	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80	3,00	2,00	6,00	4,00	12,00	8,00	30,00	20,00	60,00	40,00
C	C	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00	3,75	2,50	7,50	5,00	15,00	10,00	37,50	25,00	75,00	50,00
	D ⁽⁴⁾	1,00	0,60	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00	10,00	6,00	20,00	12,00	50,00	30,00	100,00	60,00

Fonte: CONCAR-EB (2011).

- (1) Valores determinados, ou adaptados, com base nos valores do PEC Planimétrico previstos no Decreto;
- (2) Produtos Cartográficos Digitais, baseado nos valores utilizados pelo “Ordinance Survey” e “National Joint Utilities Group” do Reino Unido, extraídos de ARIZA (2002, pág. 87, no qual Exatidão Cartográfica = 0,28 mm na escala do produto cartográfico e EP = 0,17 mm na escala do produto cartográfico);

- (3) Valor calculado levando-se em consideração os erros existentes nos processos de medição de pontos apoio e de aerotriangulação;
- (4) Valores do PEC-PCD iguais a 1 equidistância e EP de 3/5 da equidistância do produto cartográfico.

2.5.2. ANÁLISES ESTATÍSTICAS PARA A DETERMINAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL

A classificação da qualidade de produtos cartográficos depende parâmetros atribuídos de acordo com especificações e padrões técnicos descritos, uma das análises principais consiste na determinação da qualidade posicional de um produto cartográfico, ou seja, o quanto aquela representação equivale (em escala) a realidade. Segundo Salisso (2013), a posição de um determinado elemento no mundo real é analisada e descrita em um mapeamento a partir dos valores que representam o seu sistema de coordenadas apropriado.

Salisso (2013) ainda demonstra métodos estatísticos que classificam a acurácia posicional dos elementos cartográficos de acordo com os tipos de feições que representam as três primitivas gráficas conhecidas (ponto, linha e polígono) onde de forma gradual essas primitivas dependem umas das outras. Sendo assim, a acurácia posicional linear de determinadas feições é resultado da acurácia posicional dos pontos que definem essas linhas e por sua vez feições poligonais estão associadas a elementos lineares que formam as mesmas.

De acordo com Merchant (1982), a análise estatística para a determinação da acurácia posicional planimétrica é composta por duas fases, sendo elas:

- a) Análise de Tendência;
- b) Análise de Precisão.

Galo et al (2001) afirmam que, após analisar as discrepâncias médias amostrais devem ser realizadas as análises de tendência e de precisão. A análise de precisão é baseada na análise de variância das discrepâncias das amostras com valores de referência do PEC estabelecido. Por sua vez, na análise de tendência, tais discrepâncias devem ser, de forma estatística, iguais a zero, dentro de um determinado nível de confiança, para tornar viável a análise de tendência, ou não, nos produtos cartográficos.

Os testes realizados são decorrentes dos cálculos referentes aos testes de hipóteses sobre a média e o desvio padrão obtido a partir das discrepâncias entre as coordenadas planimétricas homólogas, onde, de acordo com Decreto 89.817 de 1984, noventa por cento dos pontos avaliados, não podem apresentar discrepâncias superiores ao PEC estabelecido.

2.5.2.1. Análise de Tendência

De acordo com Nogueira Jr. (2003), em um determinado produto cartográfico a análise de tendência dos seus elementos consistem em análises estatísticas entre as coordenadas de referência do mundo real de determinadas feições obtidas por algum método de levantamento preciso realizado em campo (X_i) em relação às coordenadas do produto a ser avaliada (X_i) em relação as coordenadas do produto a ser avaliado (X_{i_c}). O principal intuito dessa análise é verificar a existência de tendência de erros em alguma direção da carta.

Primeiramente é necessário calcular as discrepâncias (ΔX_i) entre essas coordenadas de acordo com a equação 7.

$$\Delta X_i = X_i - X_{i_c} \quad (7)$$

É válido ressaltar que as discrepâncias entre as coordenadas do ponto analisado e as análises estatísticas devem ser realizadas em relação aos dois elementos que formam o par de coordenadas planimétricas, viabilizando assim a determinação da direção do erro na carta observada. Dessa forma, o cálculo destas discrepâncias deve ser realizado para as direções Norte (N) e Leste (E) (Latitude e Longitude), como exibem as equações 8 e 9.

$$\Delta N = N - N_c \quad (8)$$

$$\Delta E = E - E_c \quad (9)$$

Após a determinação das discrepâncias, é necessário calcular a média e o desvio padrão das mesmas. As equações 10 e 11 exibem, respectivamente, o cálculo da média ($\overline{\Delta N}$; $\overline{\Delta E}$) e do desvio padrão ($S^2_{\Delta N}$; $S^2_{\Delta E}$) calculados para as o par de coordenadas referidas.

$$\overline{\Delta N} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta N}{n} ; \overline{\Delta E} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta E}{n} \quad (10)$$

$$S^2_{\Delta N} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta N_i - \overline{\Delta N})^2}{(n-1)}} ; S^2_{\Delta E} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta E_i - \overline{\Delta E})^2}{(n-1)}} \quad (11)$$

A análise tendência por meio da distribuição t-Student permite que sejam utilizadas amostras pequenas (mínimo de 20 amostras) ou grandes, de acordo com resíduos obtidos a partir da diferença entre as coordenadas dos pontos notáveis de produtos cartográficos em relação ao seu homologos nos levantamentos realizados em campo.

Silva (2009) afirma que, para a realização da análise de tendência, deve-se realizar a verificação se a média das discrepâncias pode ser considerada, de forma estatística, igual a zero. Dessa forma são avaliadas as seguintes hipóteses:

$$H_0: \begin{bmatrix} \overline{\Delta N} = 0 \\ \overline{\Delta E} = 0 \end{bmatrix} \quad H_1: \begin{bmatrix} \overline{\Delta N} \neq 0 \\ \overline{\Delta E} \neq 0 \end{bmatrix}$$

Esta verificação consiste em analisar se a média das discrepâncias dos elementos analisados pode ser considerada estatisticamente igual de acordo com o gráfico de distribuição normal normal de probabilidades utilizado para o teste t student. Nesta análise sugere-se que a hipótese nula (H_0) seja aceita como verdadeira em relação a hipótese H_1 . Dessa forma, pode-se aceitar ou rejeitar a hipótese nula (H_0) de acordo com a análise da sua veracidade. A utilização desta análise estatística é ideal quando não se possui o valor do desvio padrão das populações analisadas e deseja-se formular uma hipótese nula.

Conhecendo as hipóteses a serem identificadas, o próximo passo é a realização do cálculo da estatística amostral “t” com o intuito de verificar se o resultado está no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula.

Dessa forma, o valor de “t” amostral ($t_{\Delta N}; t_{\Delta E}$) conforme a equação 12.

$$t_{\Delta N} = \frac{\overline{\Delta N}}{S^2_{\Delta N}} \sqrt{n} ; t_{\Delta E} = \frac{\overline{\Delta E}}{S^2_{\Delta E}} \sqrt{n} \quad (12)$$

Onde n corresponde ao número de amostras utilizadas.

Para a análise do valor encontrado para “t” é necessário associá-lo a um valor tabelado, avaliando se a hipótese nula (H_0) é verdadeira ou não. Dessa maneira é utilizada a análise “t” de Student, associada ao número de amostras (n) e ao nível de significância utilizado. O intervalo de confiança referente ao teste “t” Student é dado com base na equação 13.

$$|t_{\Delta N}| < t_{(n-1; \frac{\alpha}{2})} ; |t_{\Delta E}| < t_{(n-1; \frac{\alpha}{2})} \quad (13)$$

onde o valor de “t” Student tabelado possui $(n - 1)$ graus de liberdade e a um nível de significância α .

Assim, se o módulo calculado para o “t” amostral (equação 11) for menor que o valor de “t” tabelado aceita-se a hipótese nula ($H_0 = 0$), ou seja, a carta pode ser considerada livre de tendências significativas, contrariamente caso a desigualdade não seja satisfeita rejeita-se a hipótese nula ($H_i \neq 0$) e a carta avaliada poderá apresentar erros significativos para um determinado nível de confiança.

Segundo Galo e Camargo (1994), o fato de existirem tendências indica possíveis erros em uma determinada direção sendo decorrentes por uma série de fatores. Contudo, conhecidas as discrepâncias e a direção das falhas o seu efeito pode ser minimizado realizando o procedimento de subtração do seu valor em cada coordenada em análise da carta.

2.5.2.2. Análise de Precisão

De acordo com Nogueira Júnior (2003), a análise de precisão consiste na comparação do desvio padrão encontrado a partir das discrepâncias entre as coordenadas levantadas e as coordenadas da carta com o Erro Padrão (EP) avaliado pelo Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC em relação a Classe em que se deseja avaliar a precisão da carta.

O teste de hipótese formulado para análise da precisão é dado da seguinte forma:

$$H_0: \begin{bmatrix} S^2_{\Delta N} < \sigma^2 \\ S^2_{\Delta E} < \sigma^2 \end{bmatrix} \qquad H_i: \begin{bmatrix} S^2_{\Delta N} \geq \sigma^2 \\ S^2_{\Delta E} \geq \sigma^2 \end{bmatrix}$$

As análises utilizadas para este método ocorrem a partir do teste qui-quadrado onde são avaliados os desvios encontrados para uma determinada avaliação em relação aos esperados em

relação ao mesmo. Dessa forma, nessa análise testa-se se os resultados observados em um experimento estão de acordo com uma determinada hipótese, por meio de testes estatísticos, sendo utilizado em análises de frequências, onde é observada a frequência de uma determinada observação realizada em relação a um valor teórico, ambas correspondentes ao desvio padrão atribuído. A hipótese testada corresponde ao mesmo princípio do teste t student apresentado. A hipótese nula (H_0) é aceita como verdadeira caso o valor calculado seja menor que o valor teórico, rejeitando a mesma e aceitando a hipótese H_1 seja atendida caso o resultado encontrado seja maior que o esperado.

O desvio padrão ou erro padrão esperado (σ^2) é calculado na (equação 14) de acordo com a classe da carta em que se deseja analisar, e seu valor é obtido por meio da equação a seguir, que utiliza o Erro Padrão (EP) correspondente a tabela do PEC em relação a classe analisada.

$$\sigma^2 = \frac{EP}{\sqrt{2}} \quad (14)$$

Com esses parâmetros iniciais aplica-se o teste Qui-quadrado amostral a fim de utilizar dos métodos estatísticos e determinar a classe da carta.

Para realizar os testes de hipóteses H_0 e H_1 é necessário calcular um valor qui-quadrado amostral e realizar uma comparação deste valor com o valor teórico assumido pela distribuição de probabilidade qui-quadrado (X^2). Primeiramente, deve-se realizar o teste qui-quadrado para as duas direções planimétricas, como mencionado anteriormente. A equação 15 exhibe o cálculo do teste qui-quadrado.

$$X^2_{\Delta N} = \frac{(n-1)S^2_{\Delta N}}{\sigma^2}; X^2_{\Delta E} = \frac{(n-1)S^2_{\Delta E}}{\sigma^2} \quad (15)$$

Posteriormente, de acordo com o valor teórico encontrado, realiza-se a comparação descrita anteriormente, para cada direção do produto cartográfico, como exibido na equação 16.

$$X^2_{\Delta N} \leq X^2_{(n-1; \alpha)}; X^2_{\Delta E} \leq X^2_{(n-1; \alpha)} \quad (16)$$

O valor de Qui- Quadrado tabelado possui $(n - 1)$ graus de liberdade e a um intervalo de confiança α , definido como 90%.

Dessa maneira, caso a equação 14 seja satisfeita aceita-se a hipótese nula de que a carta atende a classe estabelecida de acordo com a precisão da mesma, caso contrário, rejeita-se a hipótese nula de que a carta atende a classe estabelecida. A análise é realizada até que a expressão seja atendida, caracterizando a classe a carta de acordo com a sua precisão.

O desvio padrão final obtido por meio das coordenadas ($\sigma^2_{\Delta N}$; $\sigma^2_{\Delta E}$), deve atender ao estabelecido ao valor tabelado no PEC e a hipótese estabelecida, conforme exibem as equações 17 e 18.

$$H_0 : \sigma^2_{\Delta N} \leq \sigma^2_{PEC} ; H_1 : \sigma^2_{\Delta N} > \sigma^2_{PEC} \quad (17)$$

$$H_0 : \sigma^2_{\Delta E} \leq \sigma^2_{PEC} ; H_1 : \sigma^2_{\Delta E} > \sigma^2_{PEC} \quad (18)$$

2.5.2.3. Tamanho da Amostra

A verificação da acurácia no que diz respeito as das características das feições localizadas em um determinado produto cartográfico ocorre de formas diferentes em cada país. Segundo Nogueira Jr. (2003) essa diferenciação acontece devido às variações e peculiaridades de cada localidade como a divisão espacial, dimensão, situação econômica, etc.

De acordo com Merchant (1982) a verificação da exatidão de um mapa deve ser realizada a partir da comparação de no mínimo 20 pontos das coordenadas do terreno em relação ao produto cartográfico gerado.

O processo de amostragem depende do tipo de informação que se deseja analisar, ou seja quando se definem as amostras a serem utilizadas é necessário ter a garantia de que as mesmas irão representar de forma correta os atributos da população estatística, validando a sua aplicação.

Barbetta (2001) cita o uso de quatro razões para a determinação de amostras onde se possuem grandes populações, sendo descritas a seguir:

- Economia: A escolha de apenas uma parte da população (amostra) em que se deseja realizar as atividades totaliza um custo menor;
- Tempo: A coleta e análise de dados referentes apenas uma amostra em relação a toda população gera resultados mais rápidos de acordo com as atividades em que se deseja utilizar as mesmas;

- Confiabilidade dos Dados: Quando se realiza uma coleta de um número reduzido de elementos consegue-se fazer análises mais precisas em casos individuais, evitando erros nas respostas geradas;
- Operacionalidade: É mais fácil e operacional realizar atividades em pequena escala, ou seja, o manuseio dos dados ocorre de forma melhor, gerando melhores resultados.

Embora seja de extrema importância determinar o tamanho da amostra para fins de análises cartográficas a legislação em vigência no Brasil, referente ao Decreto Lei 89.817/84, não trata do assunto e a Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais – ET- ADGV (2012) também não cita essa aplicabilidade. Nogueira Jr. (2003), baseado nas pesquisas de Pereira (1979) e Rocha (2002) desenvolveu um estudo sobre amostragem casual simples onde a partir de parâmetros estatísticos tornou-se possível desenvolver uma técnica para a determinação do tamanho da amostra para controle de qualidade em cartografia.

Segundo Pereira (1979) existem dois fatores que interferem no dimensionamento da amostra:

- Erro máximo permissível (ε);
- Valor do intervalo de confiança ($1 - \alpha$) referente a probabilidade de acerto.

Dessa forma, a partir de operações estatísticas que dizem respeito a probabilidade em relação aos dados populacionais tem-se que:

$$\bar{X} - \mu = \varepsilon \quad (19)$$

Onde:

\bar{X} é a média da estimativa, com distribuição normal ($\mu, \sigma^2/n$);

μ é a média da população;

ε corresponde ao Erro Máximo da estimativa.

De acordo com Nogueira Jr (2003) se o valor que corresponde a \bar{X} gera um gráfico com Distribuição Normal, com média populacional $\mu = 0$ e variância $\frac{\sigma^2}{n} = 1$, tem-se a normal padrão ou reduzida, e a variável aleatória Z apresentará uma distribuição $N(0,1)$.

De acordo com o Teorema do Limite Central pode-se afirmar que a medida que o valor de n tende para infinito, a média da estimativa (\bar{X}) aproxima-se, graficamente, a partir de uma convergência rápida de tal maneira que o valor de Z pode ser determinado conforme a equação 20.

$$Z = \frac{\sqrt{n}(\bar{X} - \mu)}{\sigma} \approx N(0,1) \quad (20)$$

Podendo ser escrito conforme a equação 21;

$$(\bar{X} - \mu) = \frac{Z\sigma}{\sqrt{n}} \quad (21)$$

Onde:

Z é valor obtido a partir da tabela de distribuição normal a partir do intervalo de confiança;

σ é o desvio padrão populacional;

n é o tamanho da amostra.

Como $\bar{X} - \mu = \varepsilon$ substituindo na equação 21 tem-se que:

$$E = \frac{Z\sigma}{\sqrt{n}} \quad (22)$$

Ajustando a equação 22, é obtido o valor de n conforme a equação 23:

$$n = \frac{\sigma^2 Z^2}{\varepsilon^2} \quad (23)$$

Uma vez que a expressão acima é aplicável para uma população (N) infinita, torna-se necessário introduzir um fator de correção para que as operações estatísticas possam ser aplicáveis em meios finitos, sendo escrita conforme a equação 24.

$$\varepsilon = \frac{Z\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \quad (24)$$

Logo, o tamanho mínimo de amostras a serem utilizadas podem ser calculadas a partir da expressão (22) onde determina-se por meio de uma população finita com estimação da média populacional (μ) e erro máximo admissível (ε) e um nível de confiança ($1 - \alpha$) em que se deseja determinar os parâmetros. Dessa forma, com ajustes realizados nesta equação, o tamanho da amostra pode ser determinado conforme a equação 25.

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{(N-1)\varepsilon^2 + Z^2 \sigma^2} \quad (25)$$

Onde:

n = Tamanho da amostra;

Z = Intervalo de Confiança;

N = Tamanho da população;

σ = desvio padrão amostral;

ε = Erro Amostral Relativo.

2.6. GEORREFERENCIAMENTO: OBTENÇÃO DE AMOSTRAS

2.6.1. GEORREFERENCIAMENTO

O georreferenciamento consiste em uma técnica que possui o intuito de tornar uma imagem ou mapa com as suas coordenadas conhecidas num dado sistema de referência. Este processo pode ser iniciado por meio da obtenção destas coordenadas referente a um determinado produto cartográfico a ser georreferenciado por meio de levantamentos realizados em campo na região que contempla o terreno ao produto utilizado. Tais coordenadas coletadas são conhecidas como pontos de controle e dizem respeito a locais que oferecem uma feição física perfeitamente identificável no local referente a área de estudo, tais como intersecções de estradas e de rios, represas, pistas de aeroportos, edifícios proeminentes, topos de montanha, dentre outros.

2.6.2. REDE BRASILEIRA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO (RBMC)

De acordo com IBGE (2017), a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) consiste em estações de monitoramento que são materializados por meio de pinos de centragem

forçada, especialmente projetados e cravados em pilares estáveis. Esta rede é formada por receptores que possuem a capacidade de rastrear satélites GPS e GLONASS. Os receptores coletam e armazenam de forma contínua as observações da fase das ondas portadoras e do código transmitido.

A atual evolução das técnicas de mapeamento e de aquisição de dados tem gerado a necessidade do uso de técnicas de posicionamento pós-processado e em tempo, viabilizando a abrangência da função da RBMC.

As estações RBMC são caracterizadas por fazerem parte do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), caracterizado por ser uma das redes de referências mais precisas do mundo, na ordem de 5mm. A figura 15 exibe a atual distribuição das bases RBMC.

Figura 15: Distribuição das Estações RBMC



Fonte: IBGE, 2016.

2.6.3. TÉCNICAS DE POSICIONAMENTO

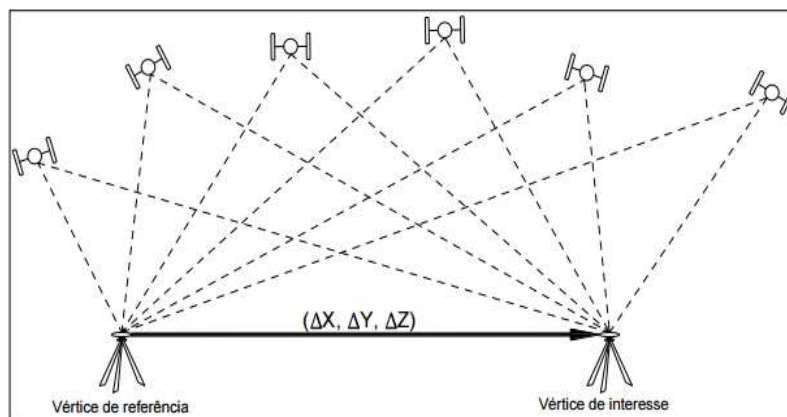
No que diz respeito às técnicas de posicionamento GPS, estas podem ser utilizadas de acordo com os resultados em que se desejam obter os dados, nível de precisão posicional e os tipos de receptores utilizados. No trabalho realizado, o método empregado foi o de posicionamento relativo estático.

2.6.3.1. Método de Posicionamento Relativo Estático

De acordo com Gemael (2004), no posicionamento relativo as coordenadas do ponto que se deseja determinar são obtidas a partir de um ou mais vértices de coordenadas conhecidas. Neste caso é necessário que dois ou mais receptores GNSS (Global Navigation Satellite Systems) coletem dados simultaneamente, onde ao menos um dos receptores ocupa um vértice de referência (coordenadas conhecidas).

Tratando-se de posicionamento relativo estático, tanto os pontos que se desejam determinar, quanto os de coordenadas conhecidas, devem permanecer estáticos durante todo o levantamento. O levantamento realizado pode ocorrer em períodos de tempo que variam de 10 minutos ou até várias horas. O período de tempo pode variar de acordo com as distâncias estabelecidas entre o ponto de rastreo, até a base de referência (linha de base). A figura 16 exibe o método de posicionamento relativo estático.

Figura 16: Método de Posicionamento Relativo



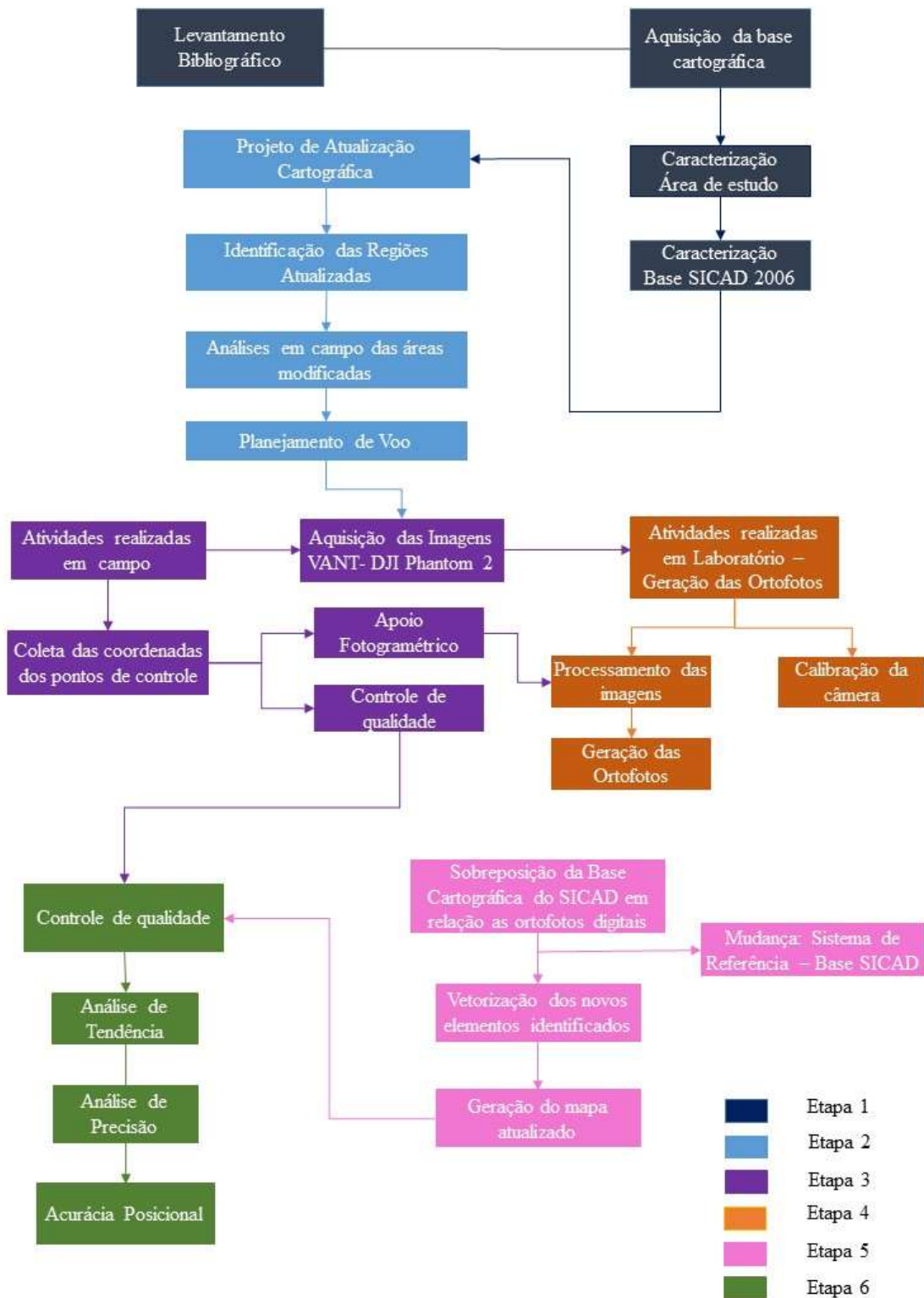
Fonte: INCRA, 2013

3. METODOLOGIA

O trabalho realizado consiste na elaboração do projeto de atualização cartográfica da área que compreende os *campi* da Universidade Federal da Bahia (UFBA), a partir dos elementos que compõem a base cartográfica do Sistema Cartográfico e Cadastral do Município do Salvador (SICAD), elaborada no ano de 2006, vigente até a presente data (2017).

Para a sua elaboração, o projeto foi dividido em seis etapas principais. A primeira etapa consistiu no levantamento bibliográfico dos principais assuntos relevantes para esta pesquisa e a aquisição da base cartográfica do SICAD de 2006 utilizada. A segunda etapa compreendeu a elaboração do projeto de atualização cartográfica, sendo assim, foram avaliadas e identificadas as principais mudanças na área de estudo e a elaboração dos planos de voos para estes locais. A terceira etapa constituiu nas atividades de campo realizadas, referentes a tomada das fotografias com o uso de VANT quadrotor e a coleta das coordenadas de feições homólogas entre as fotografias obtidas e da base cartográfica do SICAD em relação às identificáveis na área de estudo. A quarta etapa diz respeito às atividades realizadas em laboratório, caracterizadas pelo processamento das imagens e a calibração da câmera. A quinta etapa caracteriza-se pela sobreposição das ortofotos geradas na base cartográfica e vetorização das feições modificadas. A sexta etapa consiste na finalização do projeto, dessa forma é elaborado o mapa final e é realizada a determinação do controle de qualidade do mesmo. Estas etapas estão descritas no organograma da figura 17 e especificadas nos itens que seguem.

Figura 17: Organograma de atividades



3.1. MATERIAIS

Para a elaboração e desenvolvimento deste trabalho, no quadro 6 são descritos os materiais utilizados para a sua elaboração.

Quadro 6: Materiais utilizados para a elaboração do trabalho

Quantidade	Materiais	Propriedade
01	<i>Software</i> fotogramétrico de código fechado - <i>Agisoft Photo Scan Professional Version 1.3.0 (64 bits) 2017;</i>	UFBA/DETG
01	VANT quadrotor DJI Phantom 2 com Câmera integrada FC 200 - 14MP	UFBA/DETG
04	Receptor GNSS L1 Promark 100 - Antena: Spectra Precision	UFBA/DETG
01	Tablet Samsung GT - N8000	UFBA/DETG
01	Software Pix4d mapper	UFBA/DETG
01	Microcomputador Intel(R) Core(TM) i7-4770 @ 3,4ghz - 8 Gb Ram	UFBA/DETG
01	<i>Software SIG - QGIS v.2.8.4</i>	Livre
01	<i>Software Microsoft Excel v.2010</i>	UFBA/DETG
01	<i>Software Microsoft World v.2010</i>	UFBA/DETG
01	<i>Software Photomodeler</i>	UFBA/DETG
01	<i>Software SIG - ArcGIS v.10.3</i>	UFBA/DETG
01	<i>Software GNSS Solutions</i>	UFBA/DETG
01	Dxyz v. 2.0	UFBA/DETG

Ano de Elaboração: 2017

3.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo utilizada para a realização deste trabalho compreende a Universidade Federal da Bahia, nas dimensões que correspondem ao *campus* de Ondina, Federação e São Lázaro A escolha deste local para a realização das atividades ocorreu devido as atualizações dos últimos anos em elementos que o integram.

De acordo com o Plano diretor de desenvolvimento físico e ambiental da UFBA (2008), tal universidade é uma instituição pública de ensino, pesquisa e extensão, sendo a maior do estado da Bahia, com a sua sede localizada no município de Salvador- Ba.

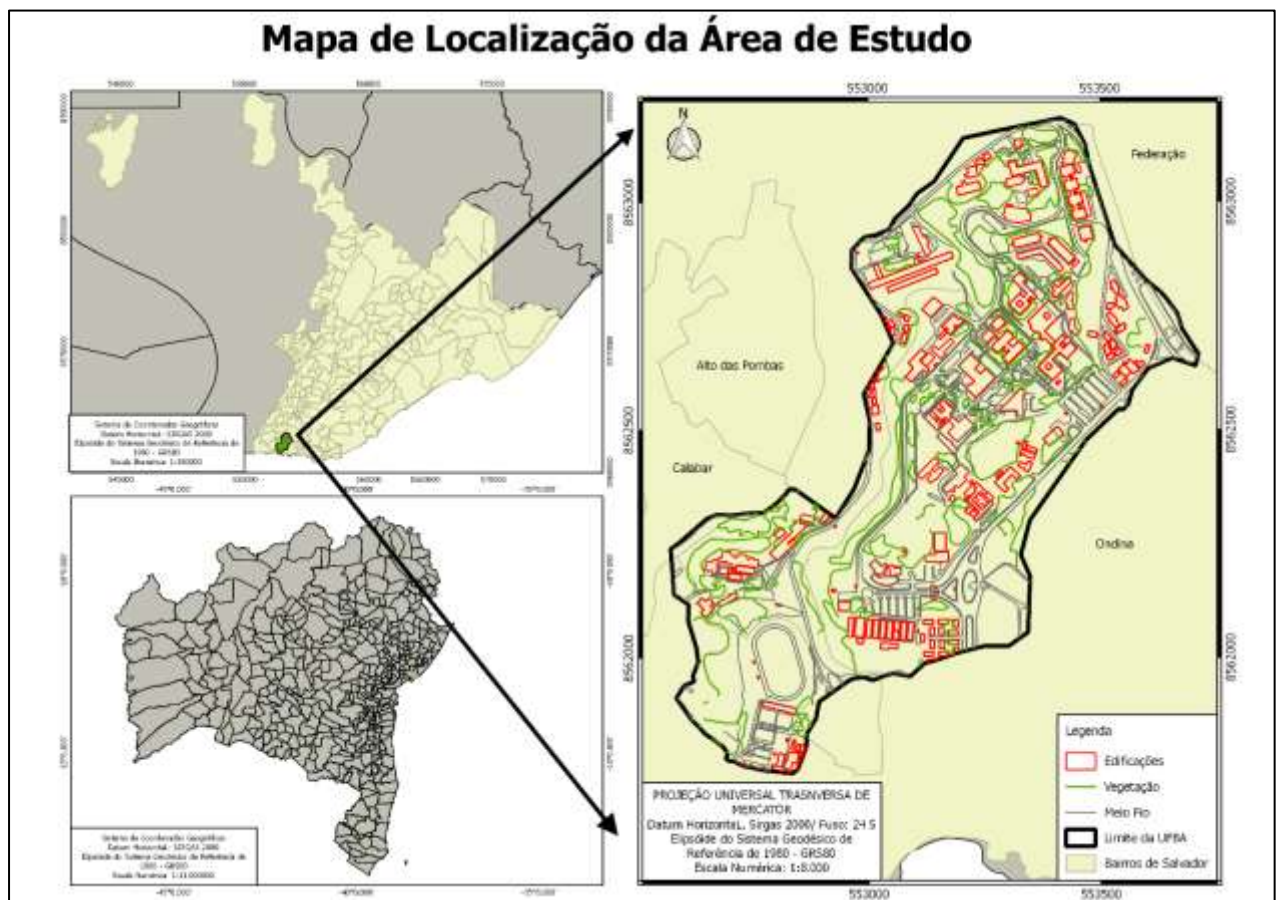
Tal instituição é caracterizada por possuir 112 cursos diferentes, sendo 94 destes correspondentes a cursos de graduação na sede de Salvador, seis nos *campi* de Vitória da Conquista e doze nos *campi* de Barreiras.

Os *campi* da UFBA em que foram desenvolvidos este trabalho contemplam as áreas correspondentes ao campus de Ondina, Federação e São Lázaro, possuindo uma área aproximada de 300.000m², com extensões que partem do bairro da Federação ao norte e pela Avenida Ademar de Barros ao sul. O plano diretor da UFBA, realizado em 2010, divide estes *campi* em cinco zonas diferentes, sendo estas caracterizadas como:

- Zona I – Federação: Ciências e Tecnologia;
- Zona II – Ondina Centro: Artes, Comunicação, Letras e Informática;
- Zona III – Ondina Sul: Administração dos *campi*, Medicina Veterinária, Dança e Biodiversidade;
- Zona IV – São Lázaro: Ciências Humanas e Sociais;
- Zona V – Educação Física, Esporte e Lazer.

A figura 18 exibe o mapa de localização da área de estudo

Figura 18: Mapa de localização da área de estudo



Ano de Elaboração: 2017

3.3. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA CARTOGRÁFICO E CADASTRAL DO MUNICÍPIO DO SALVADOR

O Sistema Cartográfico e Cadastral do Município do Salvador (SICAD) criado no Decreto Lei Nº 16.781 de 16 de setembro de 2006, na escala de 1:2000 e tem a principal finalidade de gerir o banco de dados geográficos e a cartografia oficial do município de Salvador, no estado da Bahia.

Dessa forma, de acordo com o Art. 1 deste mesmo decreto, tal sistema é composto pelo Acervo Cartográfico do Município do Salvador e a Rede de Referência Cadastral Municipal. O quadro 6 exibe os atributos contidos no SICAD.

Quadro 7: Elementos contidos no SICAD

Articulação SICAR
Edificações
Eixos de Via
Ferrovias
Lagos
Limite Municipal
Meio Fio
Postes
Pontos Cotados
Vias Principais
Rios
Vegetação

Ano de Elaboração: 2016

As informações contidas na base cartográfica do SICAD foram utilizadas como parâmetros para a realização da atualização cartográfica nas regiões que contemplam a área de estudo da UFBA.

3.4. PROJETO DE ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

A partir da obtenção das informações iniciais que contemplam o município de Salvador em relação a área de estudo da UFBA, a etapa do projeto de atualização cartográfica consistiu em duas etapas principais, sendo estas referentes a identificação das regiões onde houveram mudanças e elaboração planejamento de voo nestas áreas. Estas etapas são descritas nos próximos itens.

3.4.1. IDENTIFICAÇÃO DAS REGIÕES ATUALIZADAS

Para a identificação das regiões atualizadas, primeiramente houve a necessidade em avaliar regiões na UFBA em que ocorreram mudanças em relação à Base Cartográfica do SICAD. A análise prévia dos elementos modificados foi realizada a partir de imagens do Google Earth 2017 (Satélite Astrium CNES), uma vez que, apesar de não se tratar um tipo de mapeamento com precisões posicionais viáveis para este projeto, a constante atualização das imagens que alimentam a sua base de dados, torna possível obter o cenário atual dos *campi* da UFBA em relação às feições existentes no local.

Primeiramente foi realizado um recorte das imagens do Google Earth em relação aos limites que contemplam a área de estudo. A imagem recortada foi georreferenciada utilizando como referência os arquivos vetoriais que alimentam o SICAD, com o auxílio do *Software Qgis 2.8.4*. Com isso, foi possível obter a sobreposição da imagem com os arquivos vetoriais, viabilizando a análise visual e identificação de regiões nos *campi* que sofreram mudanças.

3.4.2. ANÁLISES EM CAMPO DAS ÁREAS MODIFICADAS

A partir da identificação visual das mudanças ocorridas na área de estudo, foram localizadas alterações nas camadas que correspondem às áreas edificadas, vias e densidade vegetativa. Dessa forma, foram realizadas visitas a campo no intuito de verificar as características das feições modificadas e a veracidade das análises visuais realizadas.

No que diz respeito às vias e a vegetação as análises foram, em sua totalidade, visuais, ou seja, foram observados e avaliados estes elementos localizados na área de estudo e comparados em relação as análises feitas a partir da sobreposição dos arquivos vetoriais do SICAD em relação as imagens do Google Earth. Todavia, no que diz respeito às edificações, os métodos de verificação ocorreram de forma diferente, uma vez que, além da análise visual das mudanças ocorridas, houve a necessidade de consultar técnicos e funcionários dos locais sobre as características e tipos das edificações construídas ou demolidas. Dessa forma, foi consultado o nome das edificações, estado acerca da mesma (edificações construídas ou demolidas), a operacionalidade e a funcionalidade com qual as mesmas se encontram.

3.4.3. PLANEJAMENTO DE VOO

Com a localização espacial das áreas onde ocorreram as mudanças das feições estabelecidas, com o auxílio do *Software Qgis 2.8.4* foi realizada a vetorização prévia destas regiões, a fim de construir um esboço das áreas a serem sobrevoadas, permitindo estabelecer a localização geográfica e dimensões dos planos de voos criados.

No que diz respeito à etapa de elaboração dos planos de voo, a sua realização ocorreu com o auxílio do *software pix4d capture*, instalado no *Tablet Samsung GT - N8000* que permitiu delimitar as faixas de voo nas áreas estabelecidas, de acordo com os parâmetros previamente determinados. Dessa forma, os parâmetros principais que foram levados em consideração dizem respeito a altura de voo utilizada, quantidade de faixas, sobreposição lateral e longitudinal, a verticalidade do eixo da câmera e a escala de voo do imageamento gerado. A altura de voo utilizada para este trabalho foi de 60 metros e as sobreposições laterais e longitudinais foram, respectivamente, 80% e 60% entre as fotografias e a verticalidade do eixo da câmera foi definida como sendo 90°. O uso deste *software* permitiu que tomadas das fotografias nas faixas de voo pudessem ser executadas de forma automática, dessa forma, a partir da delimitação da área a ser sobrevoada, o equipamento utilizado realiza o percurso de forma automática, retornando para local de origem após o término da execução do plano de voo. O cálculo da escala de voo em imagens digitais correspondeu a obtenção do tamanho do tamanho do pixel (GSD – Ground Sample Distance) que foi dada em função da determinação do produto final a ser avaliado, o seja, em função da qualidade que se espera para a ortofoto digital. Apesar do cálculo do GSD ser estimado na etapa de planejamento de voo deste trabalho, de acordo com os resultados obtidos percebeu-se que a distância focal descrita no manual da câmera não-métrica de 5 mm era diferente dos resultantes na etapa de calibração da câmera e processamento das imagens, sendo este cálculo realizado após o término de processamento das imagens com resultados obtidos no item 4.3.2.

3.5. ATIVIDADES REALIZADAS EM CAMPO

As atividades em campo realizadas neste trabalho são caracterizadas pela aquisição das imagens com o VANT quadrotor Phantom 2 e a coleta de pontos de controle sendo estas atribuídas a feições representadas nas extensões do terreno da área de estudo utilizada. Estas atividades estão detalhadas nos itens que seguem.

3.5.1. AQUISIÇÃO DAS IMAGENS ATRAVÉS DO VANT QUADROTOR DJI PHANTOM 2

A partir da identificação das regiões onde ocorreram mudanças e o planejamento de voo nestas áreas, viabilizou-se a execução das atividades de intuito de adquirir as imagens das áreas especificadas. Como mencionado no item 3.4.3 desde trabalho as faixas de voo foram planejadas previamente com o auxílio do software *Pix4d capture* e a partir da conexão via *wifi* com o equipamento, permitiu-se executar as faixas de voo previamente estabelecidas.

Para a aquisição das foi utilizado o VANT quadrotor Phantom 2. Este equipamento possui quatro motores elétricos *brushless*, onde a velocidade de cada rotor determina a forma como será sucedido o voo. É equipado com recursos de segurança *gohome* que permite que o equipamento retorne ao local de origem caso ocorra algum problema técnico ou perda de sinal.

O VANT quadrotor DJI Phantom 2 foi utilizado neste trabalho, uma vez que, em sua funcionalidade é permitido que sejam atribuídas características referentes a fotogrametria tradicional, sendo estas:

- Estabilidade de voo por sensores inerciais e GPS;
- Altura constante;
- Informações de toda a rota de voo;
- Georreferenciamento de imagens;
- Facilidade na programação e planejamento dos voos.

Além destas aplicabilidades, em sua programação o equipamento possui a liberdade da realização dos voos de forma autônoma ou manual, ou seja, o operador pode executar uma rota de voo automática, já definida por programas em laboratório ou realizá-las de forma manual, utilizando o controlador do equipamento.

O VANT quadrotor DJI Phantom 2 possui as seguintes características:

- a) Câmera não-métrica FC200 integrada 14MP com gravação de vídeo HD 1080p em um cartão micro SD;
- b) Sistema a FPV embutido, que transfere vídeo no seu smartphone (iOS / Android) através de Wi-Fi (300m);
- c) Extensor Wi-Fi incluído capaz de capturar até 980 pés acima;

- d) Gimbal motorizado - permite controlar o ângulo de inclinação da câmera, manualmente controlável através do aplicativo Vision;
- e) Tempo de voo até 25 minutos com uma única carga usando a bateria LiPo 5.200 mAh que é facilmente removível e contém um circuito inteligente e um indicador de carga restante embutido;

A figura 19 exibe uma fotografia do equipamento DJI Phantom 2 utilizado neste trabalho.

Figura 19: VANT quadrotor DJI Phantom 2



Fonte: Almeida (2014)

A câmera utilizada pelo VANT quadrotor DJI Phantom 2 é uma câmera não- métrica denominada de *Viewfinder*, comercialmente denominada *Action Cams* (Câmeras de ação) grande angular, a qual foi desenvolvida para filmagens e fotos. Por ela ter um ângulo de abertura grande 140°, apresenta grande distorção nas imagens. Possibilita enquadrar áreas maiores, apresentando muitas vezes fotos com aspecto arredondado.

3.5.2. COLETA DAS COORDENADAS DOS PONTOS DE CONTROLE

Para realização desta etapa do trabalho, após a tomada das fotografias, primeiramente foram realizadas análises em campo a fim avaliar feições que fossem facilmente identificadas nos produtos obtidos até então. Dessa forma, foram avaliadas feições homólogas no terreno em relação às fotografias e a base cartográfica do SICAD, ou seja, elementos da área de estudo facilmente identificados nestes produtos. Os pontos de controle escolhidos, neste caso também chamados de pontos notáveis correspondem às coordenadas dos elementos da área de estudo referentes a cantos de estacionamentos e esquinas, intercessões entre vias e meio fios, etc.

Antes de dar início a coleta das coordenadas dos pontos notáveis, foram realizadas pesquisas na plataforma online do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na sessão que corresponde ao Banco de Dados Geodésicos, com o intuito de obter coordenadas dos vértices de referência pertencentes à Rede Geodésica Brasileira (RGB) localizados nas proximidades da área de estudo. Foram localizadas duas estações de referência do IBGE, sendo estas denominadas como: Salvador – INCRA (SAVO) e Salvador – Capitania dos Portos (SSA1), ambas localizadas no município de Salvador-BA e suas coordenadas referenciadas no Sistema de Referência SIRGAS 2000.

A partir destas estações de referência, foram determinadas as coordenadas de todos os pontos de apoio. Os pontos apoio encontrados serviram como subsídio para determinar os pontos notáveis utilizados neste trabalho.

Para isto foi utilizada técnica de posicionamento relativo estático por meio do receptor GNSS *Promark 220*, utilizando a frequência L1 das ondas portadoras, máscara de elevação de 15° e taxa de gravação de 1 segundo. O tempo de rastreamento dos pontos notáveis foi definido como sendo 20 minutos em cada ponto, em função do comprimento da linha de base, garantindo a eliminação dos erros de ambiguidade e solução fixa para os mesmos, uma vez que a distância média das estações de referência SAVO e SSA até os vértices de apoio é de, respectivamente, 10 Km e 3 Km. O *software* utilizado para o processamento e ajustamento destas coordenadas foi *GNSS Solutions*.

A obtenção das coordenadas foi realizada com dois intuitos, sendo estes:

- a) Determinação dos pontos de controle para o processamento e geração das ortofotos digitais;
- b) Determinação da acurácia posicional do produto final.

Foram coletados 36 pontos notáveis neste trabalho que serviram de subsídio para a execução das atividades. Elias et al. (2016) criaram uma base de dados com coordenadas de pontos notáveis de feições coletadas na mesma região que contempla a área de estudo, sendo assim, foram aproveitadas 14 destas coordenadas a fim de garantir que existam dados suficientes para a execução das duas atividades. Dessa forma, para a área de estudo, em sua totalidade, foram utilizados 50 pontos notáveis.

3.6. ATIVIDADES REALIZADAS EM LABORATÓRIO PARA GERAÇÃO DAS ORTOFOTOS DIGITAIS

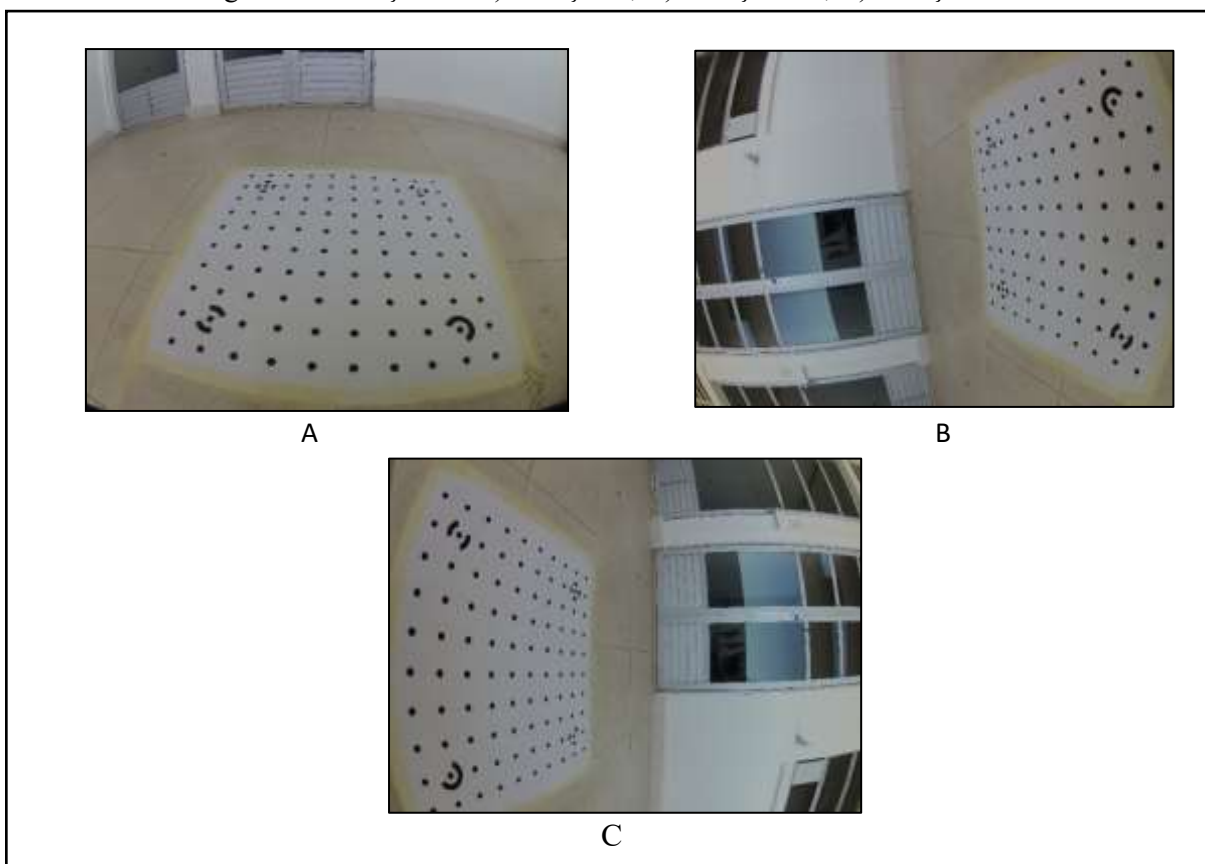
Após a tomada das fotografias foram realizados processamentos em laboratório a fim de que fossem obtidas as ortofotos digitais finais das regiões mapeadas. As atividades realizadas consistiram na calibração da câmera não-métrica para obter os parâmetros de orientação interior e processamento das fotografias. As descrições a respeito de tais etapas são abordadas nos itens 3.6.1 e 3.6.2.

3.6.1. CALIBRAÇÃO DA CÂMERA

A câmera utilizada para obtenção das fotografias corresponde a do quadrotor DJI Phantom 2 FC200, de até 14 Megapixels. De acordo com Lima (2014) esta câmera opera com 1 CCD (*Charge Coupled Device*), possui comprimento (w) de 5,714 mm e altura (h) de 4,286. A máxima resolução desta câmera é 4384 x 3288 (w x h).

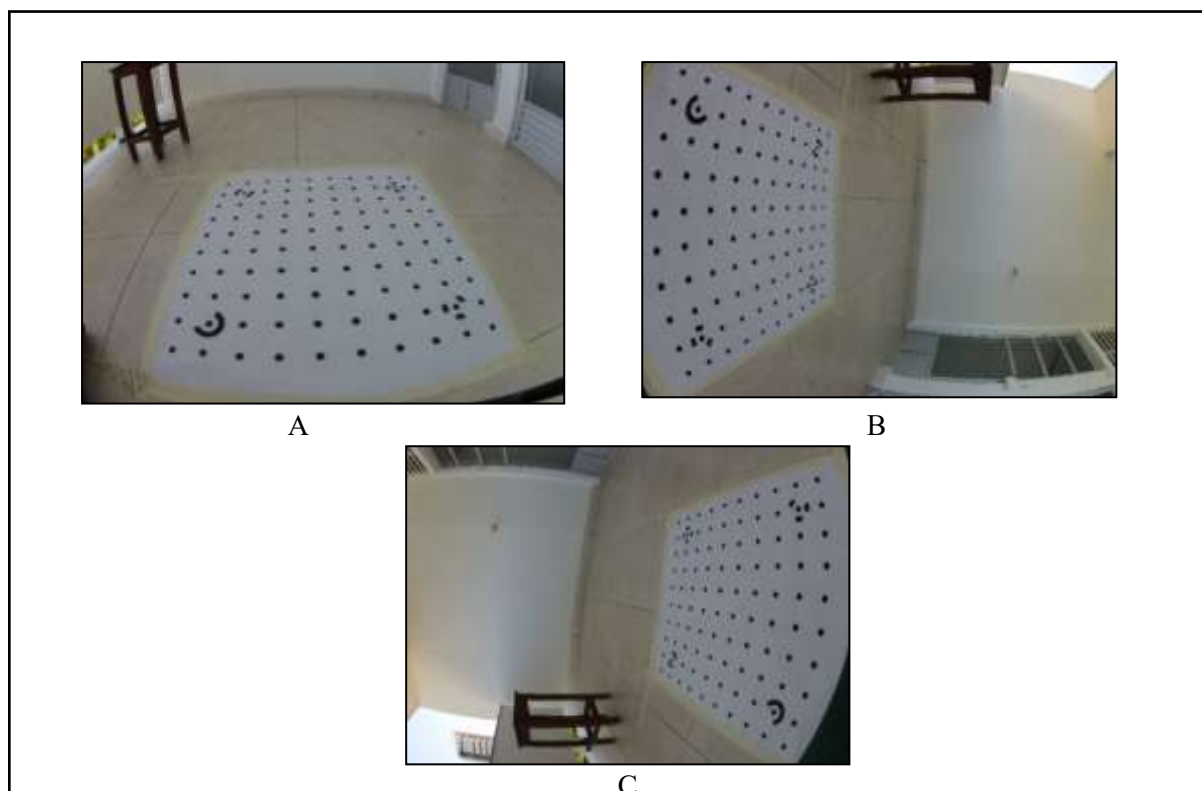
Para a calibração da câmera utilizou-se o software *Photomodeler Pro*. Neste processo de calibração da câmera, a grade de calibração foi posicionada no chão e foram tomadas imagens da mesma em quatro posições diferentes. Foram tiradas três imagens com ângulos variando de -90° a 90° (figura 20 até 23) em cada uma das posições, totalizando doze imagens.

Figura 20: Posição 1 - A) Rotação 0; B) Rotação 90°; C) Rotação -90°



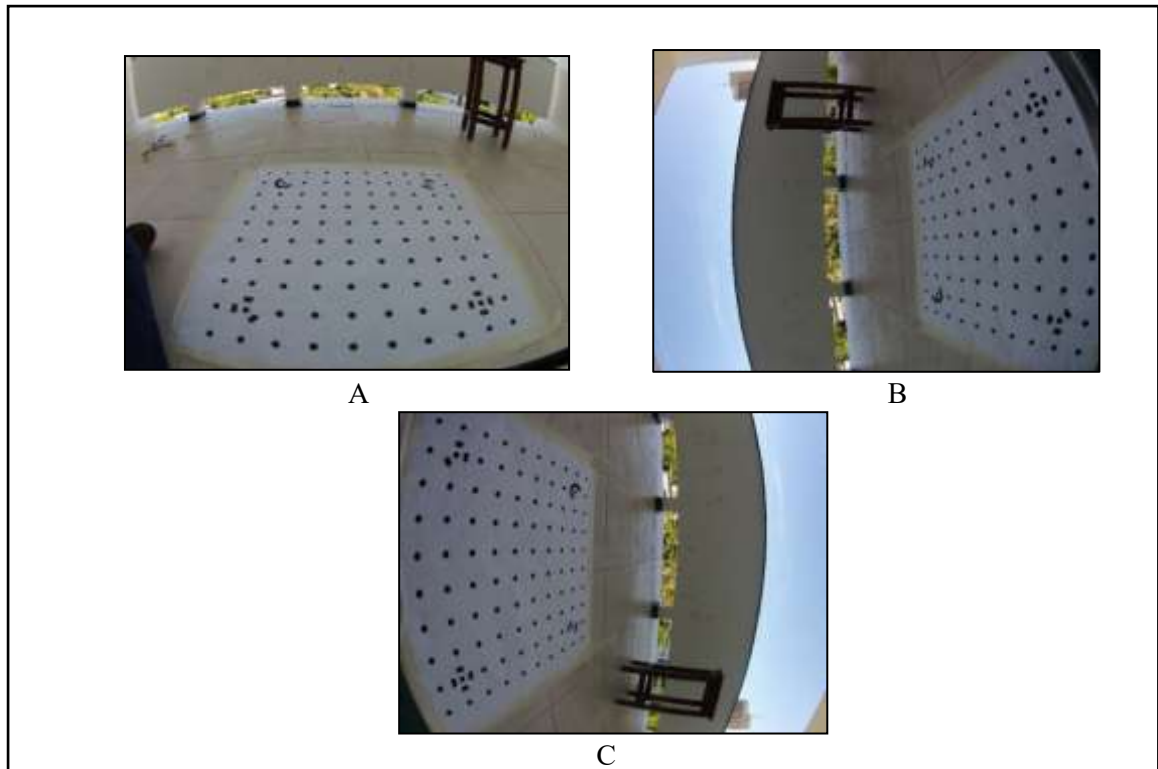
Ano de Elaboração: 2017

Figura 21: Posição 2 - A) Rotação 0; B) Rotação 90°; C) Rotação -90



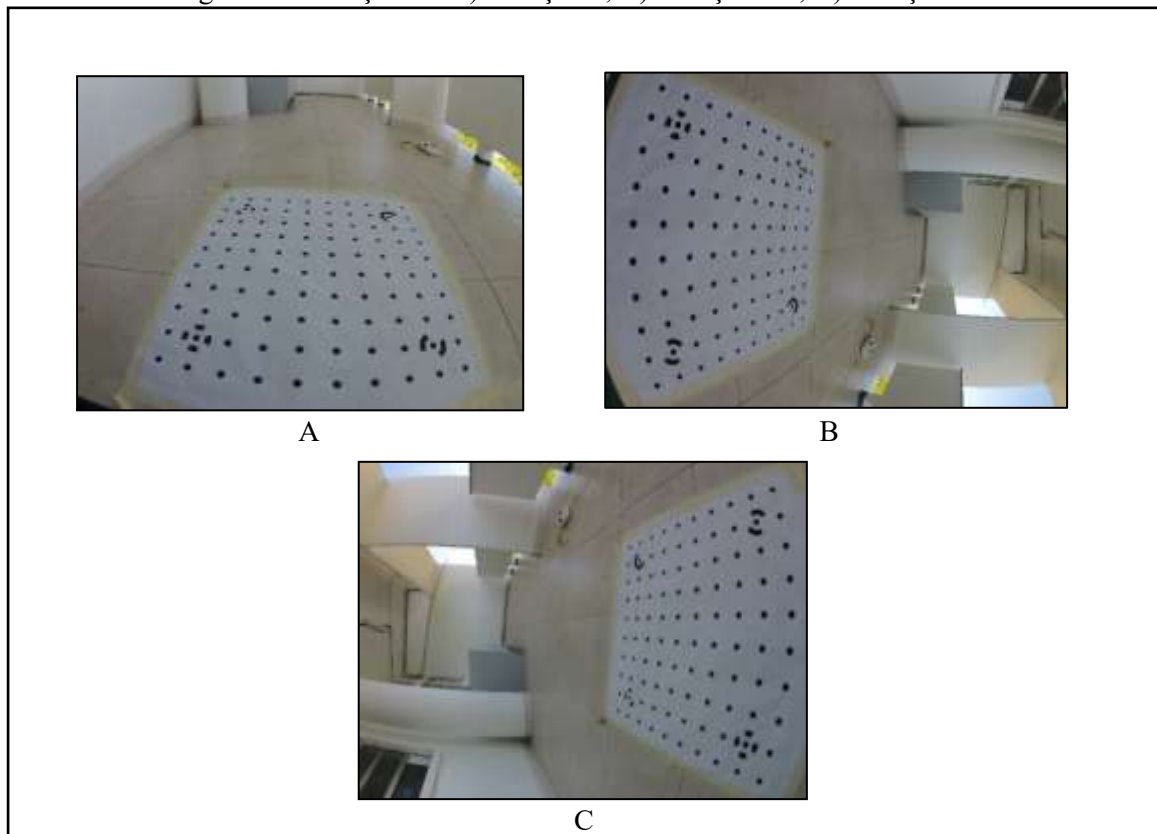
Ano de Elaboração: 2017

Figura 22: Posição 3 - A) Rotação 0°; B) Rotação 90°; C) Rotação -90



Ano de Elaboração: 2017

Figura 23: Posição 4 - A) Rotação 0°; B) Rotação 90°; C) Rotação -90



Ano de Elaboração: 2017

3.6.2. PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

Para o processamento e geração ortofotos digitais por meio das imagens geradas, foi utilizado o *software Agisoft Photo Scan 1.3.0*. Por meio deste *software* foram executadas as etapas principais para a obtenção das ortofotos digitais.

Antes da inserção das imagens no *software*, primeiramente foi realizada uma primeira etapa que diz respeito a seleção e filtragem destas fotografias. Esse processo foi realizado manualmente, dessa forma foram excluídas as imagens que apresentaram problemas de qualidade relacionados a inclinação da aeronave no momento do imageamento, variação da altitude de voo em tomadas consecutivas e o arrasto provocado por ventos que alteraram o percurso do mesmo.

Após esta seleção, as imagens foram inseridas no *software Agisoft Photo Scan 1.3.0* e realizadas as etapas correspondentes ao processado pelo *software*. As etapas foram realizadas, ordenadamente, da seguinte forma:

Alinhamento das fotografias tomadas;

- 1) Otimização do alinhamento;
- 2) Inserção dos pontos de controle;
- 3) Construção da nuvem de pontos densa;
- 4) Construção de modelos poligonais de interpolação;
- 5) Edição da geometria;
- 6) Construção do modelo digital de elevação;
- 7) Texturação;
- 8) Construção da ortofoto final.

Na etapa de alinhamento das fotografias foram detectados os pontos homólogos nas regiões de sobreposição entre as imagens, permitindo criar uma nuvem espaçada de pontos e estimar a posição de cada fotografia em relação ao recobrimento geral das áreas. Os parâmetros utilizados nesta etapa dizem respeito ao grau de acurácia na definição dos pontos homólogos, modo de seleção dos pares e a quantidade limite de pontos utilizados para a ligação de faixas. Estes pontos limites indicam o quão fina é a varredura na imagem para determinar os pontos individualizados que serão utilizados para representar os pontos homólogos e entre as faixas de recobrimento.

A construção da nuvem densa de pontos corresponde a etapa de densificação dos pontos fotogramétricos onde permite-se o refinamento dos parâmetros da posição da câmera no instante em que as fotografias são obtidas. A partir da nuvem espaçada de pontos é criada uma nuvem densa dos mesmos. Nesta etapa foram inseridas as coordenadas pontos de controle coletados em campo nos respectivos elementos no terreno para que auxiliassem no georreferenciamento da área recoberta. Estes pontos ainda auxiliaram na identificação dos parâmetros referentes aos padrões do algoritmo utilizado para geração das ortofotos digitais.

A formação do modelo poligonal de interpolação corresponde a etapa que constrói a geometria da superfície baseada na construção de faces obtidas a partir da construção de faces a partir da nuvem densa de pontos.

A partir da poligonal de interpolação foi gerado o modelo digital de elevação. Em seguida foram geradas as ortofotos das áreas onde foram obtidas as imagens, derivada da ortorretificação do recobrimento do bloco. O modelo tridimensional foi gerado a partir da técnica *Structure from Motion* (SfM), técnica utilizada pelo *software Agisoft Photo Scan 1.3.0*, onde foi possível obter o modelo 3D a partir das fotografias 2D obtidas para área de estudo.

3.7. GERAÇÃO DO MAPA ATUALIZADO

Com as ortofotos digitais da área de estudo obtidas, o próximo passo compreendeu a geração do mapa atualizado em relação ao local. Para esta etapa foi necessário realizar processos que viabilizassem obter o produto final. Estes estão relacionados a sobreposição da base cartográfica do SICAD em relação às ortofotos geradas e posteriormente a vetorização a fim de gerar o mapa final com os elementos atualizados. Tais processos são explicados nos itens que seguem.

3.7.1. SOBREPOSIÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA DO SICAD EM RELAÇÃO ÀS ORTOFOTOS GERADAS

Para a sobreposição da Base Cartográfica do SICAD em relação as ortofotos, primeiramente houve a necessidade em alterar o Sistema Geodésico de Referência (SGR) desta Base Cartográfica para o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000 (SIRGAS 2000), uma vez que a mesma estava referenciada em South American Datum 69 (SAD 69). Para esta conversão foi utilizado o software *ArcGIS v.10.3* e o método empregado por este corresponde ao *Geocentric Translation*, utilizando parâmetros de conversão estabelecidos pelo

IBGE. A tabela 2 exibe os parâmetros utilizados para conversão de SAD 69 PARA SIRGAS 2000.

Tabela 2: Parâmetros de Conversão SAD 69 – SIRGAS 2000

Parâmetros de Conversão	SAD 69 para SIRGAS 2000
a_1	6378160
f_1	1/298,25
a_2	6378137
f_2	1/298,257222101
ΔX	- 67,35
ΔY	+ 3,88
ΔZ	- 38,22

Fonte: IBGE, 2017

Onde:

a_1, f_1 = parâmetros geométricos do elipsoide do sistema de origem;

a_2, f_2 = parâmetros geométricos do elipsoide do sistema de destino;

$(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ = parâmetros de transformação entre os sistemas.

Após a mudança no SGR indicado, com o auxílio do software *QGis 2.8.4* as camadas vetoriais foram sobrepostas em relação as ortofotos geradas viabilizando a vetorização das mudanças identificadas em relação base cartográfica do SICAD criada no ano de 2006 e os produtos gerados do VANT quadrotor obtidos em 2017.

3.7.2. VETORIZAÇÃO DOS NOVOS ELEMENTOS IDENTIFICADOS

A sobreposição das camadas vetoriais selecionadas da base cartográfica do SICAD em relação às ortofotos, permitiu identificar as regiões atualizadas e iniciar o processo de representação destas mudanças por meio da vetorização destes elementos. No software *QGis 2.8.4* foram criadas três novas camadas vetoriais, referenciadas em SIRGAS 2000 e nomeadas de meio fio, edificações e vegetação. A criação destas camadas vetoriais ocorreu a fim de compatibilizar com a nomenclatura já atribuída para a base cartográfica do SICAD. Foram selecionadas estas três camadas, uma vez que as outras que alimentam não são evidentes na área de estudo por não existirem na mesma, como é o caso das camadas vetoriais referentes a rios, lagos, ferrovias e limite municipal. No processo de vetorização destas camadas na base

cartográfica do SICAD identificou-se que foi utilizada a primitiva gráfica do tipo linha para as três camadas, contudo no processo de atualização cartográfica realizado neste trabalho foram utilizadas primitivas gráficas diferentes para a vetorização destes elementos de acordo as análises interpretativas e visuais realizadas. Então, para as camadas de edificações e vegetação, utilizou-se a primitiva gráfica de polígono, quanto a de meio fios foi mantida a de linha. Dessa forma, o processo de vetorização foi realizado utilizando duas aplicações principais, sendo estas:

- a) Vetorização dos elementos novos a partir das visualização e interpretação das ortofotos obtidas;
- b) Exclusão das feições nas camadas vetoriais da base cartográfica do SICAD que não são mais evidentes nas regiões da área de estudo.

No que diz respeito as edificações, o processo de vetorização destas camadas foi realizado diretamente no *software Agisoft Photo Scan 1.3.0* e exportadas para o software *QGis 2.8.4*. Este processo foi necessário, uma vez que, as distorções geradas nas fotos fazem com que o topo das edificações não coincida a base das ortofotos geradas, tendo em vista que estas são produzidas através do MDT, que corrige o relevo e não o topo destes elementos, alterando a qualidade posicional dos mesmos. A vetorização no *software Agisoft Photo Scan 1.3.0* permitiu realizar a vetorização diretamente no modelo tridimensional gerado e vetorizar as edificações diretamente em suas bases, eliminando este problema.

Este processo permitiu obter as camadas vetoriais de meio fios, edificações e vegetações atualizadas da área de estudo e gerar o mapa da mesma atualizado, avaliando as mudanças decorrentes nos últimos onze anos.

3.8.CONTROLE DE QUALIDADE

Com a elaboração do mapa final atualizado referente a região que contempla a área de estudo, a próxima etapa constituiu na determinação da acurácia posicional do produto final, onde foram escolhidas feições no terreno bem evidentes para a obtenção destas coordenadas. A realização desta etapa foi feita através da obtenção de dados por meio de parâmetros estatísticos que viabilizassem a sua execução. Dessa forma, os passos realizados foram relacionados a obtenção da quantidade necessária de amostras para a referida área de estudo, identificação e obtenção destas coordenadas no local em relação ao produto cartográfico, cálculo das

discrepâncias das coordenadas obtidas entre as coordenadas coletadas no terreno e seus homólogos no mapa final, cálculo da média e desvio padrão destas discrepâncias, análises estatísticas de tendências e de precisão.

3.8.1. DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE AMOSTRAS

A determinação da quantidade de amostras foi realizada de acordo com os parâmetros estabelecidos no item 2.5.2.3, que estabelece as equações e parâmetros necessários para a obtenção da mesma, sendo apresentada na equação 25 neste mesmo item.

Para obtenção do cálculo da população amostral estatística (N) foi utilizado o *software Dxf2xyz v.2.0* que permite estimar este valor a partir da inserção de todas as camadas vetoriais que compõem uma determinada área de estudo. Foi utilizado um intervalo de confiança (Z) de 99,50% e considerou-se o Erro Amostral Relativo (ε) como sendo 1/5 do Desvio Padrão Amostral (σ).

3.8.2. CÁLCULO DA MÉDIA E DESVIO PADRÃO DAS DISCREPÂNCIAS

A partir da determinação do número de amostras e a obtenção das coordenadas de acordo com os métodos utilizados no item 2.5.2.3 a próxima etapa constituiu em analisar estas coordenadas em relação as suas homólogas localizadas no produto cartográfico obtido. Dessa forma, foi calculado o valor das discrepâncias das coordenadas planimétricas (N e E), de acordo com as equações 8 e 9 deste trabalho.

Em seguida foram calculados os valores correspondentes a média e o desvio-padrão destas discrepâncias como apresentado nas equações 10 e 11 descritas no item 2.5.2.1.

3.8.3. ANÁLISE DE TENDÊNCIA

Para a realização da análise de tendência, foi verificada se a média das discrepâncias é considerada estatisticamente igual a zero. Dessa forma foram avaliadas tais hipóteses:

$$H_0: \begin{bmatrix} \overline{\Delta N} = 0 \\ \overline{\Delta E} = 0 \end{bmatrix}$$

$$H_i: \begin{bmatrix} \overline{\Delta N} \neq 0 \\ \overline{\Delta E} \neq 0 \end{bmatrix}$$

Dessa forma, foi utilizada a distribuição de probabilidade *t de Student* com um valor de *t* amostral, em relação a um valor teórico obtido de forma tabela que utiliza grau de liberdade $n - 1$, onde n representa o número de amostras, e intervalo de confiança de 90%. Foi calculada assim a estatística amostral *t*, conforme a equação 12 deste trabalho.

Após a determinação da estatística amostral, a aferição dos valores amostrais obtidos foi analisada com o nível de aceitação em relação ao intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula. Então, o intervalo de confiança *t de Student* analisado foi:

$$|t_{\Delta N}| < t_{(23;0,05)} ; |t_{\Delta E}| < t_{(23;0,05)} \quad (26)$$

3.8.4. ANÁLISE DE PRECISÃO

Para a realização da análise de precisão foi preciso, primeiramente, verificar os valores contidos no PEC-PCD (Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais) para a planimetria e o EP (Erro Padrão), de acordo com os valores adotados para o Brasil que dizem respeito a ET-ADGV de 2011 para escala de 1:2000, uma vez que, a base cartográfica do SICAD foi adotada nesta escala, de acordo a tabela 3.

Tabela 3: PEC-PCD para escala 1:2.000

PEC-PCD	1:2.000	
	PEC (m)	EP (m)
A	0,56	0,34
B	1	0,6
C	1,6	1
D	2	1,2

Fonte: ET-ADGV (2012).

Para a verificação da precisão, esta ocorreu por meio da comparação do EP esperado para a classe esperada de acordo com o desvio-padrão das discrepâncias. Dessa forma, o teste de hipótese verificado, consiste nestas análises:

$$H_0: \begin{bmatrix} S^2_{\Delta N} < \sigma^2 \\ S^2_{\Delta E} < \sigma^2 \end{bmatrix}$$

$$H_1: \begin{bmatrix} S^2_{\Delta N} \geq \sigma^2 \\ S^2_{\Delta E} \geq \sigma^2 \end{bmatrix}$$

Para testar as hipóteses descritas, primeiramente foi calculado um qui-quadrado amostral e em seguida foi comparado este resultado com o valor teórico obtido pela distribuição de probabilidade do qui-quadrado (X^2). Dessa forma, para a obtenção do valor teórico são utilizadas tabelas correspondentes ao teste realizado, utilizando como graus de liberdade $n - 1$, onde n corresponde ao número de amostras, e com nível de confiança de 90%. Os parâmetros para a realização do teste qui-quadrado são exibidos conforme as equações 14 e 15, referentes ao item 2.5.2.2 deste trabalho.

Aplicando-se o teste qui-quadrado e verificando se o valor obtido satisfaz o teste de hipóteses estabelecido para esta análise, realiza-se a comparação estabelecida na equação 27.

$$X^2_{\Delta N} \leq X^2_{23; 0,1} ; X^2_{\Delta E} \leq X^2_{(23; 0,1)} \quad (27)$$

Após testar esta expressão foi possível estabelecer em qual classe está inserido o produto final obtido referente a área de estudo da UFBA, de acordo com o grau de confiabilidade de 90%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com as análises realizadas a partir das etapas estruturadas neste trabalho, obtiveram-se resultados que permitissem estabelecer um projeto de atualização cartográfica na referida área de estudo que contemplem os *campi* da UFBA. Os próximos itens exibem os resultados encontrados de acordo com os métodos empregados neste trabalho.

4.1. PROJETO DE ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

As etapas iniciais referentes do projeto de atualização cartográfica, foram baseadas na definição das regiões atualizadas e o planejamento dos voos. O uso de imagens do *Google Earth* foi de fundamental importância para a obtenção destes dados, uma vez que, através da constante atualização desta plataforma foi possível realizar as análises iniciais das mudanças ocorridas na área de estudo. Os próximos itens descrevem as etapas realizadas para a realização do projeto de atualização cartográficas de acordo com a metodologia utilizada neste trabalho.

4.1.1. IDENTIFICAÇÃO INICIAL DAS REGIÕES ATUALIZADAS

Primeiramente, a avaliação na área de estudo constituiu em identificar as camadas vetoriais da base cartográfica do SICAD que são evidentes na mesma, permitindo assim, utilizar camadas específicas para o projeto de atualização. Identificou-se, a partir de imagens do *Google Earth 2017* (Satélite Astrium CNES) que os elementos de maior representação no local constituíram basicamente das vias (meio-fio), edificações e vegetação. As outras camadas vetoriais representadas no SICAD não estão evidentes nas delimitações que compreendem a área de estudo. Dessa forma, foram utilizadas as camadas de meio-fio, edificações e vegetação para a avaliação das mudanças ocorridas e planejamentos posteriores.

O mapa da figura 24 exibe o georreferenciamento, com o auxílio do *software Qgis 2.8.4*, das imagens do *Google Earth* em relação às camadas vetoriais da base cartográfica do SICAD, conforme abordado no item 5.3.1 deste trabalho, identificando as áreas onde ocorreram as mudanças a fim de realizar o planejamento dos voos.

Figura 24: Mapa indicando as regiões atualizadas na área de estudo da UFBA



Ano de Elaboração: 2017

4.1.2. ANÁLISES EM CAMPO DAS ÁREAS MODIFICADAS

Após a identificação visual prévia dos elementos onde ocorreram mudanças bastante na área de estudo, foram realizadas atividades em campo no intuito de identificar a validade destas mudanças e obter as especificações referentes às edificações, conforme abordado no item 5.3.2. No que diz respeito às edificações, foram obtidas as informações descritas no quadro 6.

Quadro 8: Mudanças identificadas na UFBA

Localização da Edificação	Tipo de Edificação	Mudança Ocorrida	Operacionalidade
Escola Politécnica	Pavilhão de Aulas - Engenharias	Construção do novo prédio	Em andamento
Faculdade de Ciências Humanas - São Lázaro	Restaurante Universitário	Construção do novo prédio	Concluído
	Pavilhão de Aulas - Ciências Humanas	Ampliação do pavilhão de aulas	Concluído
Portão Principal	Pavilhão de Aulas - Escola de Música	Reconstrução do prédio	Em andamento
	Pavilhão de Aulas - Escola de Dança	Ampliação do prédio	Em andamento
Pavilhão de Aulas da Federação	Pavilhão de Aulas - IHAC (Dois Prédios)	Construção de novos prédios	Em andamento
	Escola de Medicina Veterinária	Ampliação dos prédios existentes	Concluído
	Pavilhão de Aulas da Federação V (PAF V)	Construção do novo prédio	Concluído
	Pavilhão de Aulas da Federação IV (PAF IV)	Construção do novo prédio	Concluído
	Pavilhão de Aulas da Federação III (PAF III)	Construção do novo prédio	Concluído
	Instituto de Letras	Ampliação do prédio	Concluído
	Faculdade de Comunicação	Ampliação do prédio	Concluído
	Faculdade de Ciências da Computação	Construção do novo prédio	Em andamento
	Instituto de Biologia	Ampliação do prédio	Concluído
	Restaurante Universitário	Construção do novo prédio	Concluído
	Anexos - Laboratórios de Pesquisa em Química (Dois Prédios)	Construção de novos prédios	Concluído
	Laboratório de Físico-química	Construção do novo prédio	Em andamento
	Biblioteca de Exatas	Construção do novo prédio	Concluído

Faculdade de Arquitetura	Pavilhões de Aulas (Dois Prédios)	Demolição	Concluído
Faculdade de Arquitetura	Pavilhões de Aulas (Dois Prédios)	Construção de novos prédios	Concluído

Ano de Elaboração: 2017

Além das novas edificações foram identificadas duas mudanças significativas, sendo estas referentes a criação da Praça das Artes, localizada no Pavilhão de Aulas da Federação (PAF) e a ampliação da quadra de esportes da UFBA, localizada no instituto de educação física da mesma.

4.1.3. PLANEJAMENTO DE VOO

A partir da identificação das áreas onde houve mudanças na área de estudo da UFBA, a delimitação destas regiões por meio da vetorização no *software QGIS 2.8.4* auxiliou na determinação dos planos de voos destes locais, estabelecendo geograficamente as áreas dos voos sucedidos conforme exibido no mapa da figura 18 que apresenta as regiões onde houveram mudanças no local.

Esta identificação permite que os planos de voos fossem elaborados no *software pix4d capture*, instalado no *Tablet Samsung GT - N8000*. As figuras 25 a 31 deste item apresentam a delimitação de cada plano de voo realizado de forma ordenada, de acordo com a localização da área em que foram realizados.

Figura 25: Escola Politécnica - Pavilhão de aulas



Ano de Elaboração: 2017

Figura 26: Faculdade de Ciências Humanas – São Lázaro

Restaurante Universitário



Ampliação - Pavilhão de Aulas (Voo 1)



Ampliação – Pavilhão de Aulas (Voo 2)

Ano de Elaboração: 2017

Figura 27: Portão Principal: Reconstrução do instituto de música e ampliação do instituto de dança



Ano de Elaboração: 2017

Figura 28: Pavilhão de Aulas das Federação



PAF IV



Instituto de Biologia

FACOM e Ciências da Computação



RU e Praça das Artes



Anexos PAF I



Prédio Físico-química



Biblioteca de Exatas



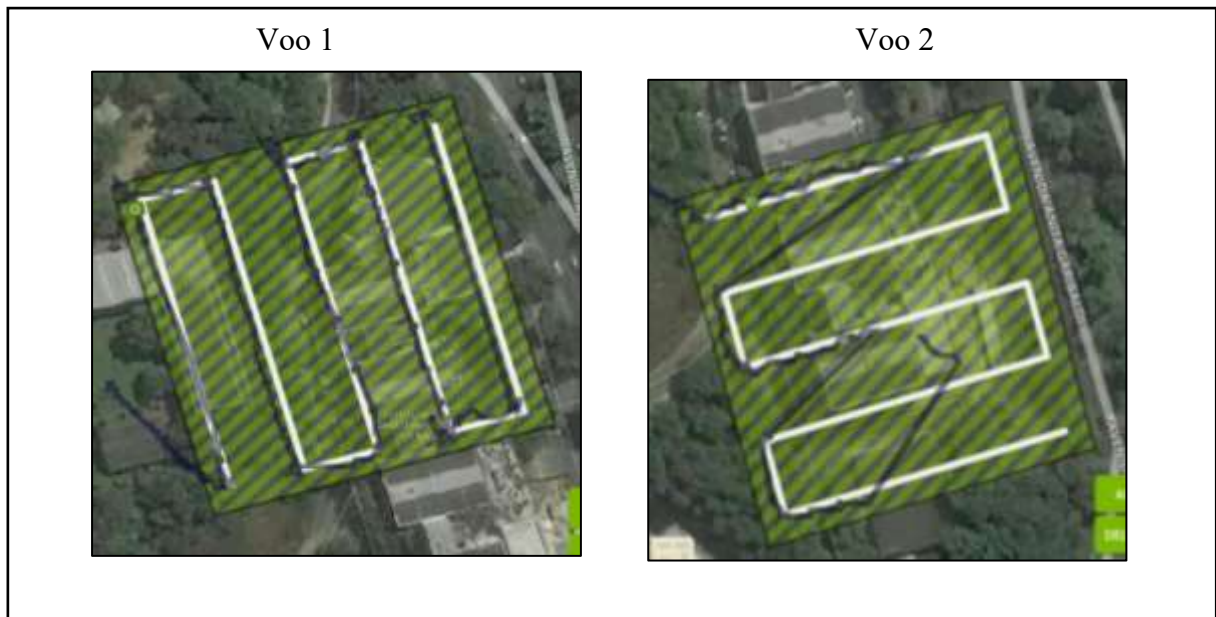
Ano de Elaboração: 2017

Figura 29: Faculdade de Arquitetura



Ano de Elaboração: 2017

Figura 30: Instituto de Geociências



Ano de Elaboração: 2017

Figura 31: Faculdade de Educação Física



Ano de Elaboração: 2017

A tabela 4 exhibe as especificações que dizem respeito a cada plano de voo criado, exibindo os aspectos referente a quantidade de faixas, número de fotografias tomadas e dimensões do quadro de voo.

Tabela 4: Especificações dos planos de voos criados

Localização do plano de voo	Área sobrevoada	Quantidade de faixas de voo (unit.)	Dimensões do quadro de voo (m)
Escola Politécnica	Pavilhão de aulas	4	79 x 61
Faculdade de Ciências Humanas - São Lazaro	Restaurante universitário	4	71 x 60
	Pavilhão de aulas (Voo 1)	4	114 x 77
	Pavilhão de aulas (Voo 2)	4	121 x 75
Portão Principal	Instituto de Música e Dança (Reforma da área)	5	174 x 105
Pavilhão de Aulas da Federação	Pavilhão de aulas (IHAC)	4	74 x 78
	PAF V e Escola de Medicina Veterinária	5	101 x 91
	Pavilhão de aulas - PAF IV	4	91 x 61
	Pavilhão de aulas - PAF III	4	57 x 63
	Ampliação do Instituto de Letras	5	63 x 86
	Faculdade de Comunicação e Ciências da Computação	6	63 x 145
	Instituto de Biologia	5	67 x 84
	Restaurante Universitário e Praça das Artes	7	110 x 156
Pavilhão de Aulas da Federação	Laboratórios de Química (Anexos PAF I)	5	56 x 103
	Laboratório Físico-química e reforma do Instituto de Farmácia	7	126 x 151
	Biblioteca de exatas	4	67 x 87
Faculdade de Arquitetura	Construção e demolição de pavilhões de aulas	5	100 x 100
Instituto de Geociências	Ampliação – Instituto de Geociências (Voo 1)	5	100 x 94
	Ampliação – Instituto de Geociências (Voo 2)	5	89 x 89
Instituto de Educação Física	Quadra - UFBA (Educação Física)	6	87 x 140

Ano de Elaboração: 2017

4.2. ATIVIDADES REALIZADAS EM CAMPO

No que diz respeito a etapa de aquisição de imagens com o VANT DJI quadrotor Phantom 2 e a coleta de pontos de controle, os resultados obtidos são apresentados nos próximos itens deste trabalho.

4.2.1. AQUISIÇÃO DAS IMAGENS ATRAVÉS DO VANT QUADROTOR DJI PHANTOM 2

Por meio da identificação das áreas onde ocorreram mudanças na área de estudo, foi desencadeada a ida a campo para tomada de voo e das fotografias por meio do VANT quadrotor DJI Phantom 2 e da câmera não-métrica FC 200. A tabela 5 exibe a quantidade de fotografias obtidas em cada faixa de voo realizada.

Tabela 5: Quantidade de Fotografias por faixa de voo

Localização do plano de voo	Elemento sobrevoado	Número de fotografias tomadas (unit.)
Escola Politécnica	Pavilhão de aulas	21
Faculdade de Ciências Humanas - São Lázaro	Restaurante universitário	15
	Pavilhão de aulas (Voo 1)	19
	Pavilhão de aulas (Voo 2)	16
Portão Principal	Instituto de Música e Dança (Reforma da área)	61
Pavilhão de Aulas da Federação	Pavilhão de aulas (IHAC)	19
	PAF V e Escola de Medicina Veterinária	31
	Pavilhão de aulas - PAF IV	24
	Pavilhão de aulas - PAF III	32
	Ampliação do Instituto de Letras	20
	Faculdade de Comunicação e Ciências da Computação	32
	Instituto Biologia	28
	Restaurante Universitário e Praça das Artes	42
	Laboratórios de Química (Anexos PAF I)	18
	Laboratório Físico-química e reforma do Instituto de Farmácia	54
	Biblioteca de exatas	32
Faculdade de Arquitetura	Construção e demolição de pavilhões de aulas	31
Instituto de Geociências (IGEO)	Ampliação – Instituto de Geociências (Voo 1)	18
	Ampliação – Instituto de Geociências (Voo 2)	12

Instituto de Educação Física Ano de Elaboração: 2017	Quadra - UFBA (Educação Física)	36
---	---------------------------------	----

No momento da tomada das fotografias a dificuldade maior foi relacionada a perda de sinal em algumas áreas descritas na tabela 5 e nos planos de voo correspondentes, descritos no item 4.1.3. A perda de sinal impediu algumas faixas de voo fossem executadas por completo, necessitando realizar a tentativa mais de uma vez, até obter as fotografias de acordo com o planejamento dos voos. Os locais onde ocorreram as perdas de sinais foram relacionados ao Pavilhão de Aulas da Federação, nas áreas que correspondem ao IHAC, PAF III, PAF IV e do Laboratório de Físico-química, dessa forma os planos de voo exibidos para estas áreas na figura 28, tiveram que ser executados de duas a três vezes a fim de obter as faixas de voo completas.

As figuras 32 a 39 exibem algumas imagens fotografadas em campo a partir da execução do planejamento de voo estabelecido.

Figura 32: Restaurante Universitário – PAF



Ano de Elaboração: 2017

Figura 33: Instituto de Biologia



Ano de Elaboração: 2017

Figura 34: PAF III e PAF IV



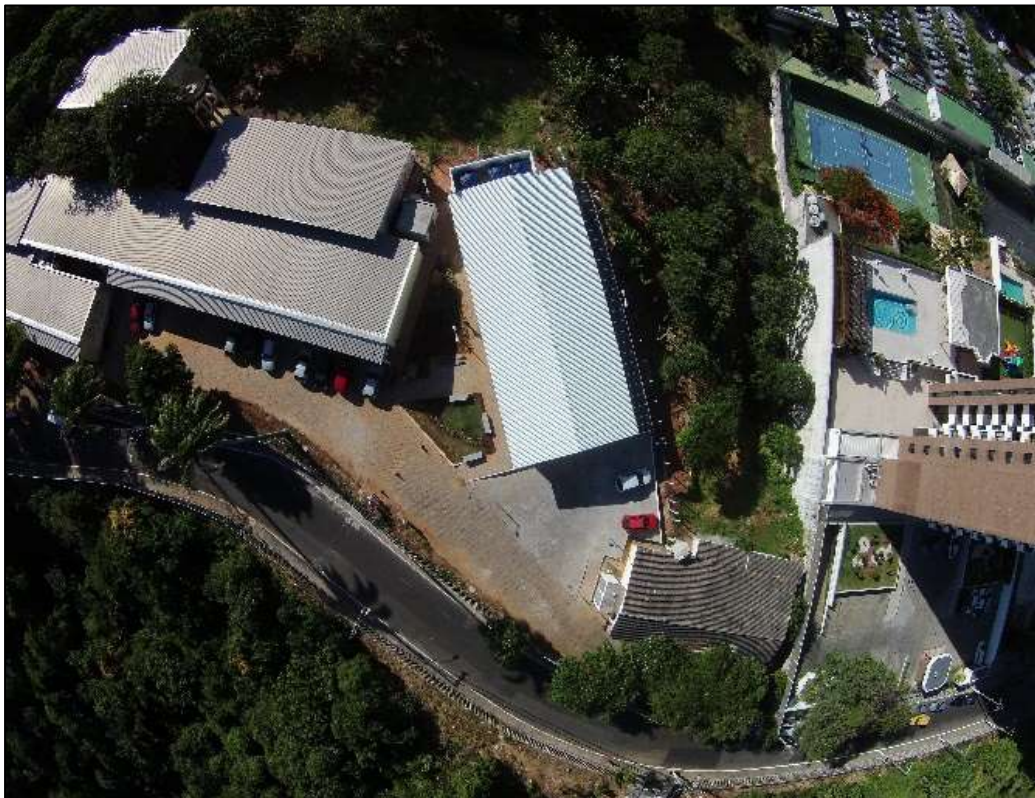
Ano de Elaboração: 2017

Figura 35: Escola de Medicina Veterinária



Ano de Elaboração: 2017

Figura 36: Restaurante Universitário – São Lázaro



Ano de Elaboração: 2017

Figura 37: Escola Politécnica



Ano de Elaboração: 2017

Figura 38: Portão Principal



Ano de Elaboração: 2017

Figura 39: Laboratório Físico-química



Ano de Elaboração: 2017

Por meio destas imagens foi possível realizar uma análise visual das fotografias obtidas, no que diz respeito a qualidade das mesmas. Percebeu-se que houve uma boa nitidez dos elementos identificáveis nas fotografias. O horário e as condições climáticas favoráveis presentes no momento da execução dos planos de voos, auxiliou na obtenção de fotografias com melhor resolução radiométrica, uma vez que houve luminosidade suficiente na tomada destas. Contudo, percebeu-se também, que as telhas que revestem as edificações apresentaram nítidas nas imagens, com a presença de linhas arredondadas. O formato arredondado em algumas imagens diz respeito a característica da câmera não-métrica ser de grande angular no intuito de grandes extensões no momento da tomada das fotografias.

4.2.2. COLETA DAS COORDENADAS DOS PONTOS DE CONTROLE

O quadro 9 exhibe as coordenadas das Estações de Referência utilizadas para a realização do transporte de coordenadas para os pontos de controle.

Quadro 9: Coordenadas das Estações de Referência

Estação	Coordenadas Geodésicas		Coordenadas UTM		Desvio Padrão N	Desvio Padrão E	Desvio Padrão H
	Latitude (S)	Longitude (W)	N (m)	E (m)			
SAVO	12° 56' 21,2886"	38° 25' 56,1134"	8569514,404	561583,034	0,001	0,001	0,004
SSA	12° 58' 30,5697"	38° 30' 59,3447"	8565561,750	552438,838	0,001	0,001	0,004

Fonte: IBGE (2017)

O quadro 10 exibe as coordenadas dos pontos de apoio coletadas neste trabalho.

Quadro 10: Coordenadas dos Pontos de Apoio

Estação	Coordenadas UTM		Desvio Padrão		
	N (m)	E (m)	N (m)	E (m)	H (m)
Base PAF	8562545,667	553219,263	0,008	0,008	0,008
Base.SL	8562290,192	552876,449	0,005	0,004	0,006
Base.Poli	8562886,083	553075,763	0,004	0,004	0,005
Base Quadra	8561808,115	552775,640	0,007	0,006	0,007
Base Portão	8562139,590	553015,732	0,006	0,005	0,007
Base Arq	8563095,344	553337,403	0,006	0,006	0,007
Base Fis	8562850,252	553383,795	0,006	0,006	0,008

Ano de Elaboração: 2017

Os quadros 11 e 12 exibem, respectivamente, as coordenadas das feições coletadas para o processamento das fotografias e para a acurácia posicional do produto final.

Quadro 11: Feições coletas para apoio fotogramétrico

Estação	Coordenadas UTM		Desvio Padrão		
	N (m)	E (m)	N (m)	E (m)	H (m)
P01.PAF	8562558,622	553265,317	0,002	0,002	0,003
P02.PAF	8562600,729	553310,267	0,002	0,002	0,003
P04.PAF	8562571,387	553355,96	0,002	0,002	0,003
P06.PAF	8562727,852	553246,052	0,002	0,002	0,003
P07.PAF	8562676,848	553182,802	0,002	0,002	0,003
P09.PAF	8562603,459	553113,321	0,023	0,048	0,087
P11.PAF	8562495,862	553149,311	0,002	0,002	0,003
P13.PAF	8562346,889	553160,033	0,002	0,002	0,003
P14.PAF	8562469,794	553183,941	0,016	0,068	0,077
P01.POLI	8562903,473	553088,119	0,002	0,002	0,003
P02.POLI	8562946,576	553095,306	0,002	0,002	0,003
P03.POLI	8562881,748	553065,965	0,002	0,002	0,003
P01.SL	8562295,35	552873,381	0,002	0,002	0,003
P02.SL	8562296,626	552896,000	0,002	0,002	0,002

P03.SL	8562289,44	552880,542	0,002	0,002	0,003
P04.SL	8562164,212	552724,322	0,002	0,002	0,003
P01.Quadra	8561787,317	552746,876	0,002	0,002	0,002
P02.Quadra	8561853,358	552798,216	0,002	0,002	0,002
P03.Quadra	8561915,114	552787,797	0,002	0,002	0,002
P01.Portão	8562170,43	553100,798	0,003	0,006	0,01
P02.Portão	8562130,741	553061,722	0,003	0,006	0,01
P03.Portão	8562150,781	553050,868	0,004	0,006	0,012
P02.ARQ	8563037,964	553.348.069	0,002	0,002	0,003
P03.ARQ	8562995,345	553323,481	0,002	0,002	0,003
P01.fis	8562870,74	553379,646	0,002	0,002	0,003
P02.fis	8562793,151	553383,349	0,002	0,002	0,003
P04.fis	8562701,355	553439,606	0,002	0,002	0,003

Ano de Elaboração: 2017

Quadro 12: Coordenadas pontos de controle para acurácia posicional

Estação	Coordenadas UTM		Desvio Padrão		
	N (m)	E (m)	N (m)	E (m)	H (m)
P03.PAF	8562670,423	553365,496	0,002	0,002	0,003
P05.PAF	8562680,555	553219,721	0,002	0,002	0,003
P08.PAF	8562622,159	553127,462	0,002	0,002	0,003
P10.PAF	8562544,435	553208,843	0,002	0,002	0,003
P12.PAF	8562488,39	553216,366	0,002	0,002	0,003
P15.PAF	8562422,242	553195,248	0,044	0,144	0,29
P05.SL	8562142,789	552702,313	0,002	0,002	0,003
P04.Quadra	8561882,014	552803,179	0,002	0,002	0,002
P01.ARQ	8563094,102	553334,459	0,002	0,002	0,003
P03.fis	8562757,083	553424,585	0,002	0,002	0,003

Ano de Elaboração: 2017

O quadro 13 exibe as coordenadas dos pontos notáveis utilizados da base de dados criada por Elias et al. (2016), utilizados para obter a acurácia posicional do produto cartográfico final.

Quadro 13: Coordenadas pontos dos pontos notáveis da base de dados

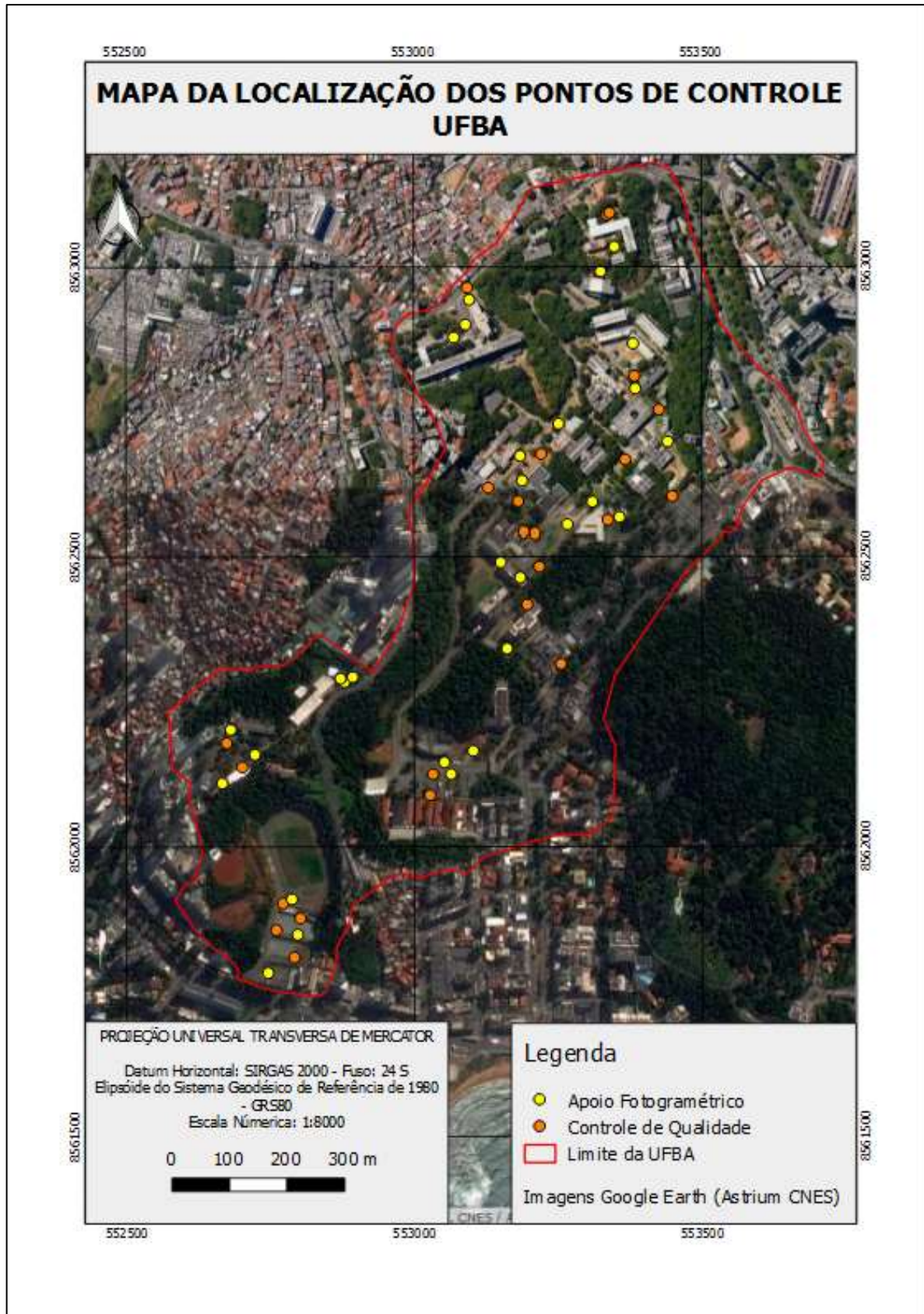
Estação	Coordenadas UTM		Desvio Padrão	
	N (m)	E (m)	N (m)	E (m)
ufba.MEV01	8562319,817	553254,501	0,041	0,126
PAF - P4	8562814,544	553382,126	0,004	0,004
PAF - P1	8562606,923	553447,565	0,009	0,009
UFBA - P9	8562130,269	553030,478	0,006	0,006
UFBA - P10	8562093,961	553026,205	0,006	0,006
UFBA - P14	8561814,253	552792,313	0,008	0,008

UFBA - P16	8561907,263	552772,787	0,008	0,008
UFBA - P15	8561861,260	552760,888	0,008	0,008
UFBA.RU	8562566,487	553335,567	0,008	0,007
M-128	8562968,540	553091,242	0,009	0,010
UFBA - P-01	8562184,199	552674,766	0,005	0,005
PAF - P6	8562547,247	553189,536	0,009	0,008
Biblio 01	8562598,919	553179,476	0,013	0,015
ARQ - M17	8563100,382	553341,948	0,009	0,008

Ano de Elaboração: 2017

A figura 40 exibe o mapa com os pontos de controle amostrados na área de estudo que corresponde aos *campi* da UFBA.

Figura 40: Mapa com pontos de controle utilizados neste trabalho



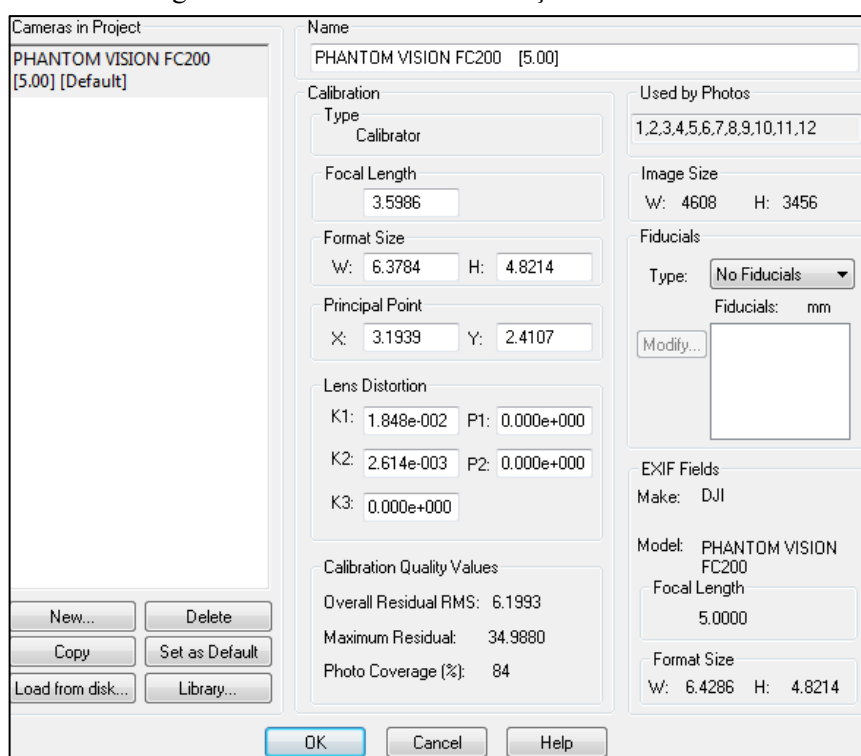
Ano de Elaboração: 2017

4.3. ATIVIDADES REALIZADAS EM LABORATÓRIO PARA GERAÇÃO DAS ORTOFOTOS DIGITAIS

4.3.1. CALIBRAÇÃO DA CÂMERA

A figura 41 exibe a janela do software *Photomodeler Pro* em que são apresentados os resultados obtidos para a calibração realizada.

Figura 41: Resultados da Calibração em laboratório



Ano de Elaboração: 2017

Para esta etapa da atividade, houveram dificuldades relacionadas ao processo, uma vez que não foi possível remover a câmera do equipamento para acoplar a mesma em um tripé para que os alvos de calibração pudessem ser fotografados com os mesmos ângulos de inclinação e as mesmas distâncias. Além disso as fotografias não podiam ser diretamente tomadas da própria câmera, sendo obtidas de forma indireta por meio do *Tablet Samsung GT - N8000*. Foram realizadas sete tentativas no intuito de tentar os resultados esperados, contudo, percebeu-se a partir da quarta tentativa que os resultados obtidos não seriam satisfatórios, ou seja, o valor residual (*Overall Residual RMS*) não seria menor que 6 pixels utilizando a técnica desta forma. Este resíduo não é considerado um valor bom, uma vez que não viabilizou a determinação dos

parâmetros de distorção descentrada, ou seja, o valor do RMS obtido foi muito alto. Então, para este trabalho foram utilizados os parâmetros de calibração obtidos de forma automática pelo próprio *software Agisoft Photo Scan 1.3.0* para cada ortofoto digital gerada no processamento das imagens.

A calibração da câmera realizada em laboratório tem o intuito de obter seus parâmetros na plataforma terrestre a partir da escolha de uma determinada área com horário, luminosidade e condições atmosféricas viáveis a fim se obter melhores resultados em relação aos obtidos no momento da tomada das fotografias, uma vez que, no momento do voo a câmera está sujeita a falhas relacionadas a altitude do voo, inclinações do equipamento no momento da obtenção das fotografias e condições atmosféricas relacionadas a ventos de acordo com o local e horário em que são realizados os voos.

4.3.2. PROCESSAMENTOS DAS IMAGENS

Uma vez que a primeira etapa constituiu em realizar a filtragem das fotografias que apresentaram os erros especificados no item 3.6.2 os mesmos foram localizados nas fotografias tomadas e removidos manualmente. A figura 42 apresenta um exemplo de fotografia removida onde, devido a inclinação da câmera devido a ventos no momento do voo, fez com que a haste do VANT quadrotor fosse exibida no lado esquerdo da imagem (sinalizada em vermelho).

Figura 42: Erro identificado em uma das fotografias tomadas



Ano de Elaboração: 2017

Para a geração das ortofotos digitais finais foi utilizado o *software Agisoft Photo Scan 1.3.0* e a partir de das fotografias obtidas, foram geradas sete ortofotos, cada uma delas refere-se as regiões onde ocorreram as tomadas de voos na área de estudo. O quadro 14 exibe os resultados obtidos nas etapas executadas, sendo estas relacionados aos valores obtidos no alinhamento das fotografias, construção da nuvem densa de pontos, modelo tridimensional, quantidade de pontos de controle inseridos e a quantidade de fotografias utilizadas para a geração das ortofotos. Foram processadas neste trabalho, conforme a as regiões em que ocorreram as tomadas das fotografias.

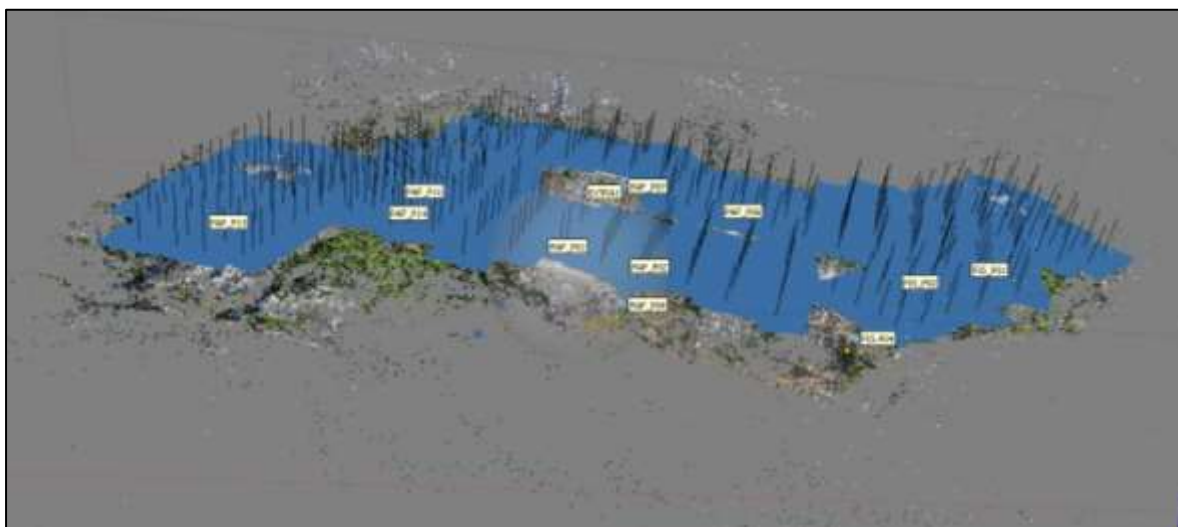
Quadro 14: Resultados obtidos a partir da execução dos planos de voo

Localização	Alinhamento das Fotografias - Nuvem Densa de Pontos Homólogos (unit.)	Densificação da grade pontos (unit.)	Faces Triangulares Modelo Tridimensional	Número de pontos de controle	Número de Fotografias
Escola Politécnica	16945	3714808	246470	3	21
São Lázaro - Restaurante Universitário	12399	2697822	178780	3	15
São Lázaro - Pavilhão de Aulas	30606	5847969	387963	3	35
Portão Principal	52170	32205907	6427537	3	61
Faculdade de Arquitetura e IGEO	49452	8890743	591998	3	63
Pavilhão de Aulas da Federação	194279	44156288	2938244	12	349
Quadra - UFBA	24155	5089667	335836	3	36

Ano de Elaboração: 2017

A figura 43 exibe um dos resultados obtidos com alinhamento das fotografias obtidas no processamento das imagens.

Figura 43: Alinhamento das Fotografias



Ano de Elaboração: 2017

As figuras 44 á 57 a seguir exibem os modelos tridimensionais e as ortofotos geradas a partir do processamento das imagens brutas obtidas.

Figura 44: Modelo Tridimensional – Prédio: Escola Politécnica



Ano de Elaboração: 2017

Figura 45: Orotofoto – Prédio: Escola Politécnica



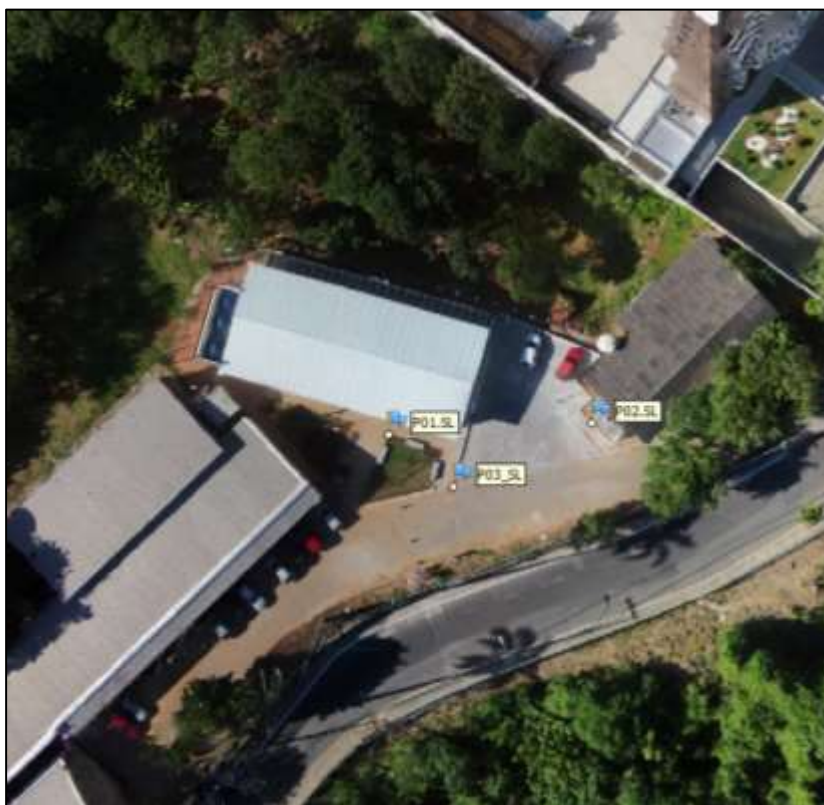
Ano de Elaboração: 2017

Figura 46: Modelo Tridimensional – São Lázaro: Restaurante Universitário



Ano de Elaboração: 2017

Figura 47: Ortofoto – São Lázaro: Restaurante Universitário



Ano de Elaboração: 2017

Figura 48: Modelo Tridimensional - São Lázaro: Pavilhão de Aulas



Ano de Elaboração: 2017

Figura 49: Ortofoto – São Lázaro: Pavilhão de Aulas



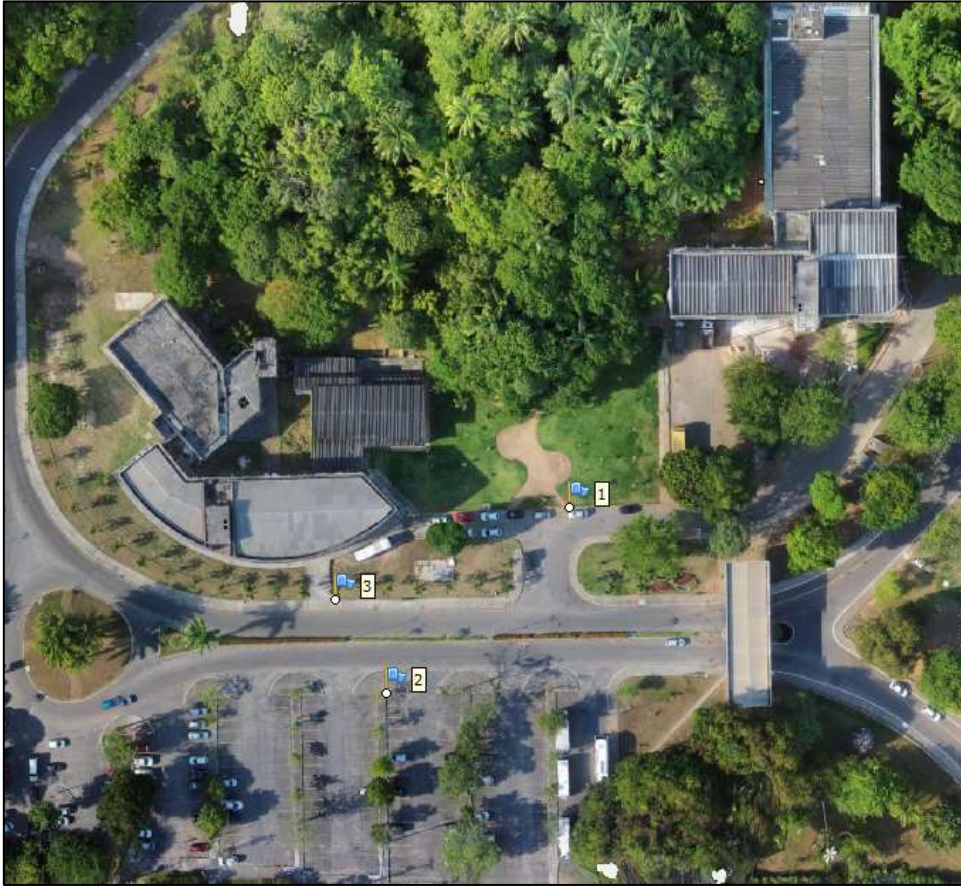
Ano de Elaboração: 2017

Figura 50: Modelo Tridimensional – Portão Principal



Ano de Elaboração: 2017

Figura 51: Ortofoto – Portão Principal



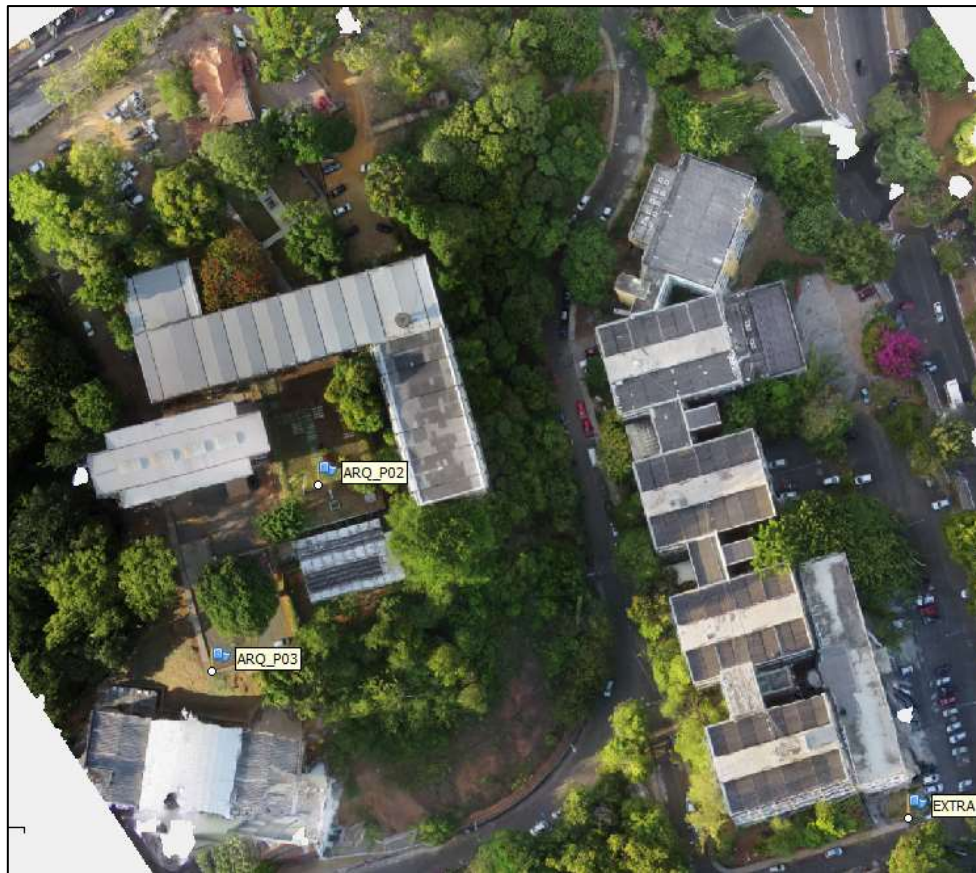
Ano de Elaboração: 2017

Figura 52: Modelo Tridimensional – Faculdade de Arquitetura e Instituto de Geociências



Ano de Elaboração: 2017

Figura 53: Ortofoto – Faculdade de Arquitetura e Instituto de Geociências



Ano de Elaboração: 2017

Figura 54: Modelo Tridimensional - Quadra de Esportes



Ano de Elaboração: 2017

Figura 55: Ortofoto – Quadra de Esportes



Ano de Elaboração: 2017

Figura 56: Modelo Tridimensional – Pavilhão de Aulas da Federação



Ano de Elaboração: 2017

Figura 57: Ortofoto – Pavilhão de Aulas da Federação



Ano de Elaboração: 2017

Durante o momento do processamento das fotografias houveram falhas relacionadas obtenção das ortofotos digitais finais, bem como, seus respectivos modelos tridimensionais. Primeiramente, o processamento das fotografias foi realizado para cada plano de voo executado, ou em áreas onde estes planos de voo eram elaborados sequencialmente, como exibe a tabela 5. Contudo, principalmente na região que diz respeito ao Pavilhão de Aulas da Federação, notou-se que nas ortofotos geradas da área que contempla a Biblioteca de Exatas, os prédios anexos do PAF I e do instituto de farmácia obtiveram-se discrepâncias na faixa de dois metros das coordenadas das suas feições em relação as coordenadas homólogas dos pontos de controle coletadas em campo. Na tentativa de corrigir tais falhas, houve um reprocessamento das fotografias correspondentes ao pavilhão de aulas da federação de forma conjunta, ou seja, para esta área foi gerada uma única ortofoto, como exibe a figura 57. Com isso, conseguiu-se solucionar as falhas relacionadas as discrepâncias obtidas para as áreas específicas, uma vez o processamento dessa forma, permitiu a inserção de todos os pontos de controle coletados para esta área e conseqüentemente uma melhor distribuição dos mesmos.

Apesar do cálculo do GSD ser avaliado na etapa de planejamento de voo, de acordo com a metodologia descrita no item 3.4.3 nos resultados obtidos percebeu-se que o valor dado no manual do equipamento para a distância focal de 5 mm difere dos valores obtidos na calibração de câmera em laboratório e na calibração automática realizada no *software Agisoft Photoscan 1.3.0*. A tabela 6 exibe os parâmetros de calibração obtidos no processamento de geração de cada ortofoto.

Tabela 6: Parâmetros de calibração obtidos

Localização	Distorção Radial (pixels)			Distorção Descentrada (pixels)		Distância Focal (pixels)	Posição da coordenada central	
	K1	K2	K3	P1	P2		Cx	Cy
Escola Politécnica	-0,56953	0,377046	-0,12098	-0,00132884	0,0071543	3727,59	38,819	-91,426
São Lázaro - Restaurante Universitário	-0,66939	0,587624	-0,341697	-0,00142319	-0,001518	3727,59	18,1589	39,6892
São Lázaro - Pavilhão de Aulas	-0,70183	0,612596	-0,338304	0,0002033	0,0011758	3727,59	-5,4996	7,28132
Portão Principal	-0,36891	0,174008	-0,053823	9,75E-07	-9,47E-05	2663,58	2,35613	19,2896
Pavilhão de Aulas da Federação	-0,35719	0,157788	-0,044746	-7,23E-05	-8,83E-05	2586,92	1,38198	23,5861
Faculdade de Arquitetura e IGEO	-0,32900	0,123165	-0,028012	-0,0001620	-0,000249	2472,59	3,58938	34,9261
Quadra - UFBA	-0,71443	0,622748	-0,338041	-0,0002347	0,000521	3727,59	1,96	11,0666

Ano de Elaboração: 2017

O valor da dimensão do pixel no sensor CCD para a câmera não-métrica FC 200 corresponde ao valor de 0,0013 mm, dessa forma, de acordo com a equação 25, para cada ortofoto foram obtidos os valores de GSD apresentados a tabela 7.

Tabela 7: Cálculo do GSD para cada ortofoto digital gerada

Ortofoto	GSD (m)
Escola Politécnica	0,016
São Lázaro - Restaurante Universitário	0,016
São Lázaro - Pavilhão de Aulas	0,016
Portão Principal	0,023
Pavilhão de Aulas da Federação	0,023
Faculdade de Arquitetura e IGEO	0,024
Quadra - UFBA	0,016

Ano de Elaboração: 2017

Foi calculado também, o GSD obtido a partir do valor da distância focal da calibração realizada em laboratório, obtendo um valor de 0,019 m. Dessa forma, nota-se que o valor do pixel no terreno apresentou valores satisfatórios de acordo com a altura de voo utilizada referente a área de estudo, sendo possível utilizar as ortofotos obtidas para fins de atualização cartográfica, permitindo identificar os elementos das feições em que ocorreram as mudanças.

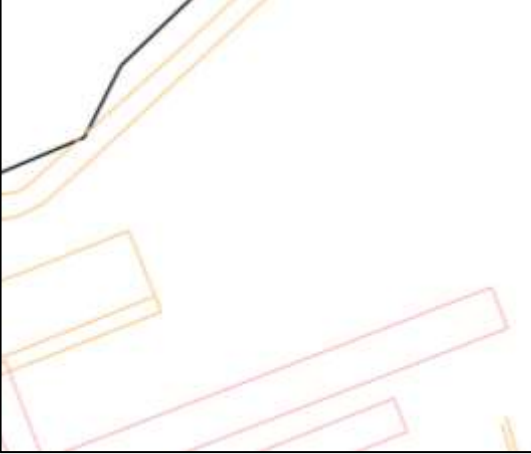

4.4.GERAÇÃO DO MAPA ATUALIZADO

A geração do mapa atualizado foi compreendida pela mudança no SGR da base cartográfica do SICAD de SAD 69 para SIRGAS 2000 e em seguida a sobreposição das ortofotos geradas em relação a mesma, realizando a vetorização e obtenção do mapa final atualizado.

Em relação às mudanças identificadas na área de estudo, notou-se que ocorreram alterações das vias (meio fios), vegetação e as edificações. Houve uma visualização e análise maior destas três camadas, uma vez que são as mais evidentes na área de estudo, em detrimento das outras que não possuem representação vetorial nesta região. Observou-se também que a construção e demolição de edificações foi a atualização mais pertinente do local, pois, além das mudanças na quantidade de edificações construídas no local, as mesmas também interferiram diretamente nos outros elementos que compõem a área, dessa maneira, a construção de novas edificações fez com que surgissem novos passeios e a diminuição da densidade vegetativa de determinados locais e, de forma análoga, a demolição das mesmas ocasionou mudanças nas áreas que compõem meio fios e passeios.


O esquema que segue exibe, por meio de imagens, os quadros com a identificação na base cartográfica do SICAD, as regiões onde houveram mudanças e a sua comparação em relação aos produtos obtidos atualizados. Dessa forma, podendo indicar as mudanças ocorridas, as edificações são apresentadas na cor vermelha, as vegetações em verde e os meios-fios na cor laranja. A seleção destas cores foi dada para melhor representação dos elementos atualizados no esquema criado.

Quadro 15: Atualização – Escola Politécnica

Escola Politécnica: Construção – Pavilhão de Aulas	
Base Cartográfica – SICAD 2006	Produto Final – Atualização Cartográfica
	

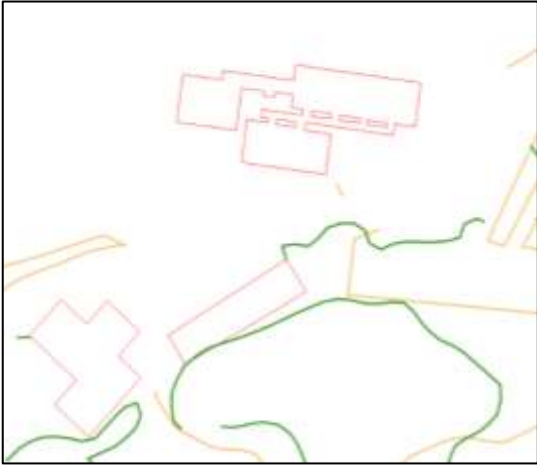

Ano de Elaboração: 2017

Quadro 16: Atualização – São Lázaro (Restaurante Universitário)

Instituto de Ciências Humanas – São Lázaro: Restaurante Universitário	
Base Cartográfica – SICAD 2006	Produto Final – Atualização Cartográfica
	



Ano de Elaboração: 2017

Quadro 17: Atualização – São Lázaro (Pavilhão de Aulas)

Instituto de Ciências Humanas – São Lázaro: Ampliação dos Pavilhões de Aulas	
Base Cartográfica – SICAD 2006	Produto Final – Atualização Cartográfica
	

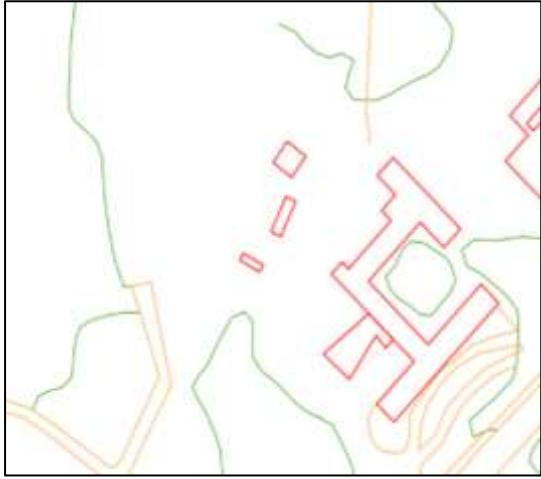

Ano de Elaboração: 2017

Quadro 18: Atualização – Portão Principal

Portão Principal	
Base Cartográfica – SICAD 2006	Produto Final – Atualização Cartográfica
	

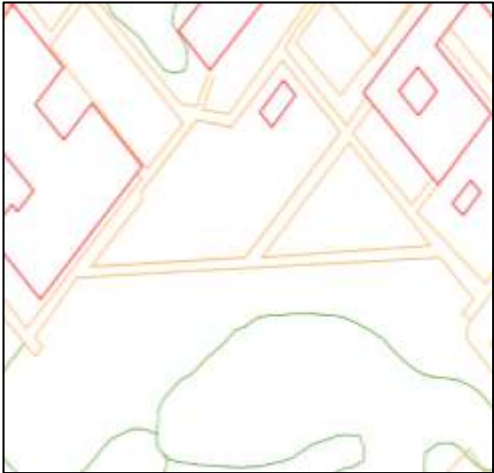

Ano de Elaboração: 2017

Quadro 19: Atualização – IHAC, PAF V e Faculdade de Medicina Veterinária

Pavilhão de Aulas da Federação – Construção dos prédios do IHAC, PAF V e ampliação da Faculdade de Medicina Veterinária	
Base Cartográfica – SICAD 2006	Produto Final – Atualização Cartográfica
	

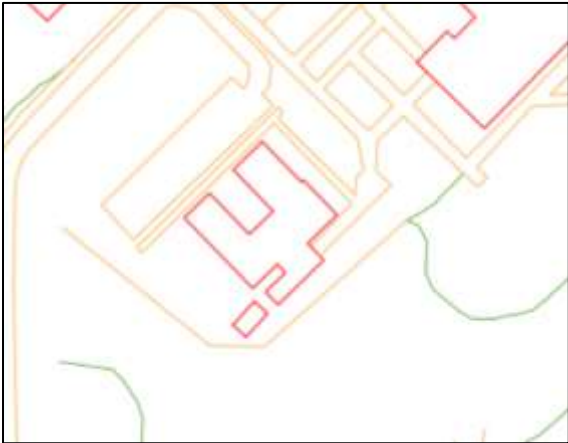

Ano de Elaboração: 2017

Quadro 20: Atualização – PAF (Praça das Artes e Restaurante Universitário)

Pavilhão de Aulas da Federação – Construção do Restaurante Universitário e da Praça das Artes	
Base Cartográfica – SICAD 2006	Produto Final – Atualização Cartográfica
	



Ano de Elaboração: 2017

Quadro 21: Atualização – PAF III, PAF IV e Faculdade de Letras

Pavilhão de Aulas da Federação – Construção dos prédios do PAF III, PAF IV e ampliação do prédio da Faculdade de Letras	
Base Cartográfica – SICAD 2006	Produto Final – Atualização Cartográfica
	



Ano de Elaboração: 2017

Quadro 22: Faculdade de Comunicação, Instituto de Biologia e Ciências da Computação

Pavilhão de Aulas da Federação – Ampliação da Faculdade de Comunicação, Instituto de Biologia e construção do anexo de Ciências da Computação	
Base Cartográfica – SICAD 2006	Produto Final – Atualização Cartográfica
	

Ano de Elaboração: 2017

Quadro 23: Faculdade de Farmácia e Anexos PAF I

Pavilhão de Aulas da Federação – Ampliação da Faculdade de Farmácia e Construção dos Laboratórios de Química (Anexos PAF I)	
Base Cartográfica – SICAD 2006	Produto Final – Atualização Cartográfica
	

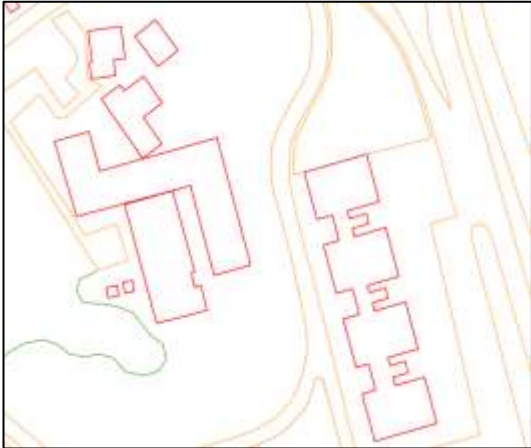

Ano de Elaboração: 2017

Quadro 24: Biblioteca de Exatas de laboratório de físico-química

Pavilhão de Aulas da Federação – Construção da Biblioteca de Exatas e do Laboratório de Físico-química	
Base Cartográfica – SICAD 2006	Produto Final – Atualização Cartográfica
	

Ano de Elaboração: 2017

Quadro 25: Faculdade de Arquitetura e Instituto de Geociências

Pavilhão de Aulas da Federação – Reforma da Faculdade de Arquitetura e Reforma do Instituto de Geociências	
Base Cartográfica – SICAD 2006	Produto Final – Atualização Cartográfica
	

Ano de Elaboração: 2017

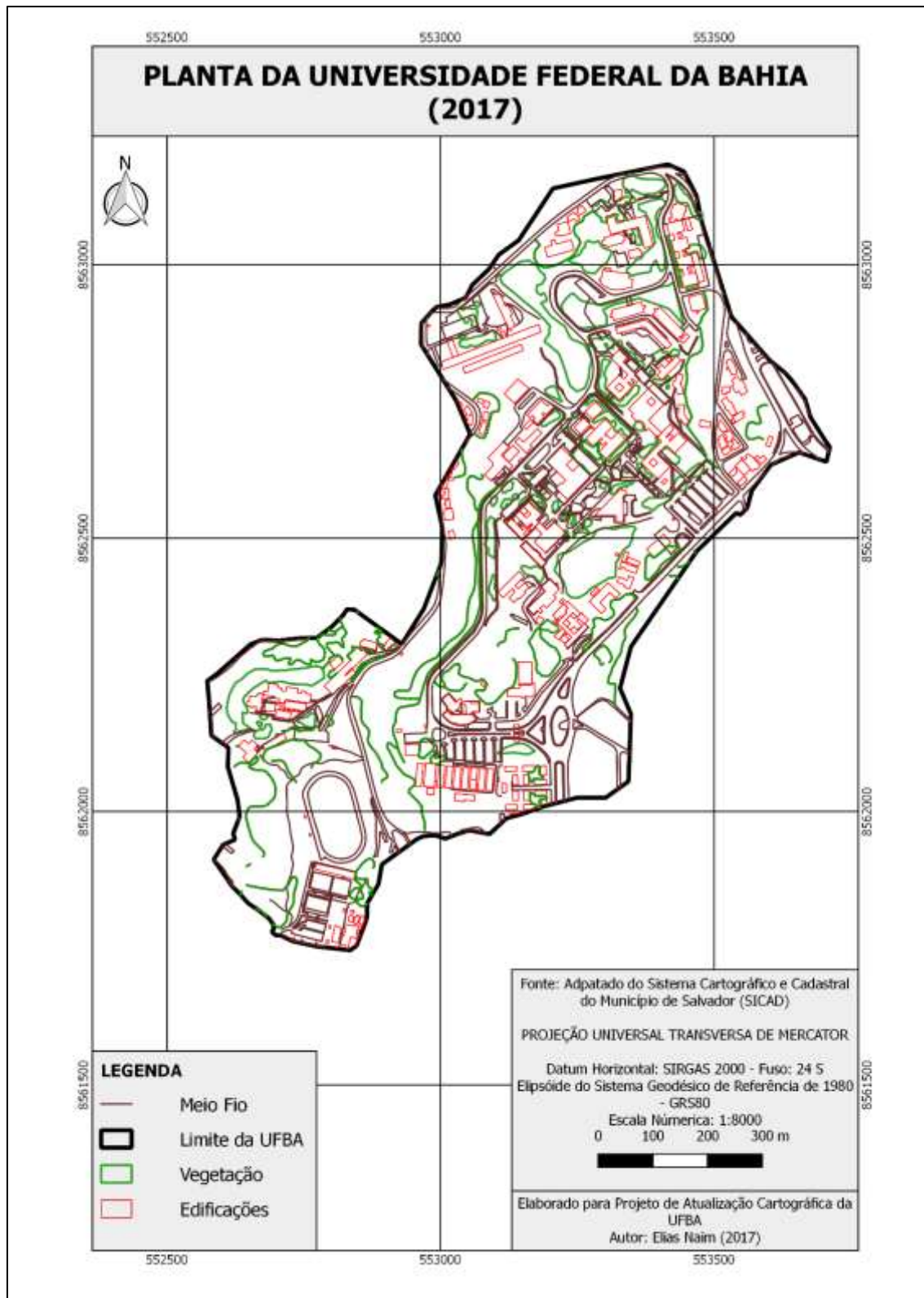
Quadro 26: Faculdade de Educação Física

Faculdade de Educação Física – Ampliação da Quadra de Esportes	
Base Cartográfica – SICAD 2006	Produto Final – Atualização Cartográfica
	

Ano de Elaboração: 2017

O mapa da figura 58 exibe o mapa do produto final atualizado correspondente a área de estudo dos *campi* da UFBA.

Figura 58: Mapa atualizado dos *campi* da Universidade Federal da Bahia



Ano de Elaboração: 2017

4.5. CONTROLE DE QUALIDADE

4.5.1. DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE AMOSTRAS

Para a realização do cálculo do número de amostras, considerou-se um intervalo de confiança (Z) de 99,5% e o erro amostral relativo (ε) como sendo 1/5 do desvio padrão amostral (σ). Dessa forma, a equação 25 é apresentada de acordo com a equação 27

$$n = \frac{Z^2 N}{(N-1)\left(\frac{1}{5}\right)^2 + Z^2} \quad (27)$$

O cálculo da população amostral utilizando o *software Dxf2xyz v.2.0* permitiu obter um valor de aproximadamente 24000 amostras. A substituição deste valor na equação 27 fez com que fosse obtido o valor mínimo de 24 amostras para área que caracteriza as delimitações da área de estudo dos *campi* da UFBA, utilizada neste trabalho.

4.5.2. CÁLCULO DAS DISCREPÂNCIAS

O quadro 27 exibe as discrepâncias calculadas para as amostras coletadas em campo em relação aos seus homólogos no produto cartográfico avaliado.

Quadro 27: Discrepância dos Pontos de Controle

Ponto	Estação	Coordenadas UTM		Coordenadas - Projeto		Discrepâncias	
		N (m)	E (m)	N (m)	E (m)	Delta (N)	Delta (E)
1	PAF.P03	8562670,423	553365,496	8562670,371	553365,758	0,052	-0,262
2	PAF.P10	8562544,435	553208,843	8562544,431	553208,853	0,004	-0,010
3	PAF.P08	8562622,159	553127,462	8562621,866	553127,673	0,293	-0,211
4	ufba.MEV01	8562319,817	553254,501	8562320,248	553253,952	-0,431	0,549
5	PAF - P4	8562814,544	553382,126	8562814,746	553382,248	-0,202	-0,122
6	PAF.P12	8562488,390	553216,366	8562488,375	553216,384	0,015	-0,018
7	FIS.P03	8562757,083	553424,585	8562756,647	553424,795	0,436	-0,210
8	PAF.P05	8562680,555	553219,721	8562680,229	553219,966	0,326	-0,245
9	ARQ.P01	8563094,102	553334,459	8563093,700	553334,278	0,402	0,181
10	PAF - P1	8562606,923	553447,565	8562606,911	553447,684	0,012	-0,119
11	UFBA - P9	8562130,269	553030,478	8562130,137	553031,094	0,132	-0,616
12	PAF.P15	8562422,242	553195,248	8562422,791	553195,332	-0,549	-0,084
13	UFBA - P10	8562093,961	553026,205	8562094,040	553026,021	-0,079	0,184
14	Quadra.P04	8561882,014	552803,179	8561881,577	552802,856	0,437	0,323

15	UFBA - P14	8561814,253	552792,313	8561813,911	552792,544	0,342	-0,231
16	UFBA - P16	8561907,263	552772,787	8561907,343	552772,825	-0,080	-0,038
17	UFBA - P15	8561861,260	552760,888	8561861,271	552761,088	-0,011	-0,200
18	UFBA.RU	8562566,487	553335,567	8562566,360	553335,788	0,127	-0,221
19	M-128	8562968,540	553091,242	8562967,795	553091,627	0,745	-0,385
20	SL.P05	8562142,789	552702,313	8562142,735	552702,420	0,054	-0,107
21	UFBA - P01	8562184,199	552674,766	8562184,101	552675,138	0,098	-0,372
22	PAF - P6	8562547,247	553189,536	8562546,610	553189,613	0,637	-0,077
23	Biblio 01	8562598,919	553179,476	8562598,578	553179,728	0,341	-0,252
24	ARQ - M17	8563100,382	553341,948	8563099,943	553341,508	0,439	0,440

Ano de Elaboração: 2017

4.5.3. CÁLCULO DA MÉDIA E DESVIO PADRÃO DAS DISCREPÂNCIAS

As tabelas 8 e 9 exibem, respectivamente, o cálculo da média e desvio padrão das discrepâncias obtidas no item 4.5.2 para as duas direções das coordenadas planimétricas (N, E).

Tabela 8: Média das Discrepâncias

Média das Discrepâncias	
$\overline{\Delta N}$	0,147
$\overline{\Delta E}$	-0,0876

Ano de Elaboração: 2017

Tabela 9: Desvio Padrão das Discrepâncias

Desvio Padrão	
$S^2_{\Delta N}$	0,308
$S^2_{\Delta E}$	0,266

Ano de Elaboração: 2017

4.5.4. ANÁLISE DE TENDÊNCIA

A tabela 10 exhibe o teste de tendência *t student* calculado para os valores obtidos a partir da média e do desvio padrão obtido a partir das discrepâncias encontradas.

Tabela 10: Teste *t student*

<i>t-student</i>		
$t_{(23;0,05)}$	1,714	TABELADO
$t_{\Delta N}$	2,342202059	NÃO PASSOU
$t_{\Delta E}$	-1,61353666	PASSOU

Ano de Elaboração: 2017

Dessa forma, a hipótese nula do teste *t student* foi apenas aceita para a componente E do par de coordenadas planimétricas (N, E). Então, considerando 90% de confiabilidade, não existe a tendência de erros sistemáticos para esta direção, em detrimento da componente N, em que foi apresentada tendência de erros.

4.5.5. ANÁLISE DE PRECISÃO

Foi realizada de acordo com a metodologia proposta no item 3.8.4. Sendo assim, as tabelas 11 e 12 apresentam, respectivamente, os resultados obtidos para o erro padrão esperado e do teste qui-quadrado realizados para uma escala de 1:2.000 abordada.

Tabela 11: Erro Padrão Esperado

PEC-PCD	Erro Padrão Esperado (σ^2)
A	0,240416306
B	0,424264069
C	0,707106781
D	0,848528137

Ano de Elaboração: 2017

Tabela 12: Classificação do produto cartográfico

Teste Qui-Quadrado			
PEC-PCD	$X^2_{\Delta N}$	$X^2_{\Delta E}$	-
A	37,8895786	28,14560548	NÃO PASSOU
B	12,16676468	9,037866648	PASSOU
C	4,380035286	3,253631993	-
D	3,041691171	2,259466662	-
$X^2_{(23; 0,1)}$		32,007	TABELADO

Ano de Elaboração: 2017

A partir do quadro 34 percebeu-se que a análise realizada, no que diz respeito a classe A a hipótese nula não foi atendida para a componente N do sistema de coordenadas planimétricas (N, E). Uma vez que a classificação do produto cartográfico em relação ao PEC-PCD deve ser avaliada de forma, para que a classe seja definida, é necessário que as duas

componentes atentam ao critério estabelecido ($X^2_{\Delta x} \leq X^2_{(n-1; a)}$). Este critério foi atendido na avaliação para a classe B do PEC-PCD, uma vez que a hipótese nula foi considerada verdadeira para as duas direções do produto cartográfico (N, E). Dessa forma, o produto cartográfico obtido, no que diz respeito a escala 1:2.000 é enquadrado na classe nesta classe. Os valores exibidos no quadro 13 apresentam os resultados para a classe B de acordo com as análises realizadas.

Tabela 13: Resultados obtidos para a classe B do PEC

Dado Calculado	ΔN	ΔE
Erro Padrão Esperado (σ^2)	0,42	0,42
Qui-Quadrado calculado ($X^2_{\Delta x}$)	12,17	9,04
Qui-Quadrado tabelado ($X^2_{(23; 0,1)}$)	32,007	32,007

Ano de Elaboração: 2017

5. DIFICULDADES ENCONTRADAS

Nas etapas que sucederam a execução do projeto, ocorreram algumas dificuldades relacionadas a algumas etapas realizadas até a geração do produto final. As dificuldades foram relacionadas, principalmente, a calibração da câmera, tomada das fotografias e geração das ortofotos digitais finais.

No que diz respeito ao processo de calibração da câmera, a não obtenção dos resultados satisfatórios foi dada devido a alguns aspectos inerentes à atividade executada, sendo estes:

- A impossibilidade de retirar a câmera acoplada ao equipamento fez com que esta não pudesse ser colocada em um tripé a fim de garantir as mesmas distâncias e ângulos de rotação similares em todas as fotografias, gerando variações nos resultados obtidos.
- O fato de a câmera ter um ângulo de abertura (140°) maior que as câmeras não-métricas convencionais, as fotografias a curta distância fizeram obter mais informações da área fotografada, além do alvo de interesse, ocasionando erros na obtenção dos parâmetros de calibração finais;

Na etapa relacionada à obtenção das fotografias em campo, as dificuldades encontradas foram relacionadas a constante perda de sinal em regiões com grande quantidade de edificações ou elevada densidade vegetativa, fazendo com que o equipamento não concluísse a rota estimada no plano de voo, necessitando realizar a tentativa mais de uma vez na mesma área até que procedimento fosse corretamente realizado. Uma vez que as fotografias eram tomadas de forma automática durante a execução dos planos de voo percebeu-se também que a perda de sinal nestas áreas ocasionou a obtenção de menos fotografias em comparação com as regiões onde não houve perda de sinal. Outra dificuldade encontrada também, nesta etapa, diz respeito a carga da bateria, pois, apesar dos manuais citarem que a mesma suporta até 25 minutos de voo, devem ser levados em consideração o período em que o VANT quadrotor DJI Phantom 2 leva para chegar a altura necessária para realizar a faixa de voo e seu retorno ao local de origem. Dessa forma, o tempo de voo não ultrapassou 15 minutos nas áreas sobrevoadas. Além destes fatores, ventos fortes em algumas áreas, dificultou o equipamento em realizar alguns planos de voo de forma correta, necessitando permanecer um período maior em voo até que a rota fosse

concluída, como por exemplo nas áreas referentes a Escola Politécnica e na Faculdade de Arquitetura.

Na etapa de processamento dos dados para geração das ortofotos finais, ocorreram dificuldades, principalmente no que diz respeito a inserção dos pontos de controle em algumas regiões, uma vez que foram percebidas diferenças quanto a exatidão planimétrica em algumas áreas durante o processamento. Na área que diz respeito ao Pavilhão de Aulas da Federação, onde as faixas de voo foram, em sua totalidade, de forma constante, o processamento das fotografias ocorreu primeiramente de forma separada, ou seja, foi gerada uma ortofoto digital para cada plano de voo, com isso percebeu-se uma boa resolução visual dos elementos que compõem estas áreas, contudo, no que diz respeito a precisão posicional foram notadas discrepâncias na faixa de dois metros, o que poderia interferir no resultado final. Dessa forma, optou-se em processar as fotografias dessa região da área de estudo todas juntas, obtendo uma única ortofoto digital para o Pavilhão de Aulas da Federação onde percebeu-se que o erro posicional foi corrigido, contudo, o processamento dessa forma interferiu diretamente na resolução de duas edificações no local, sendo estas referentes a biblioteca de exatas e um dos laboratórios de química anexos ao PAF I. Apesar dessas falhas, optou-se em utilizar a segunda ortofoto digital, uma vez que, para este trabalho, a avaliação da acurácia posicional era um dos objetivos do trabalho realizado.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Uma vez que os resultados apresentados neste trabalho são relacionados a obtenção da qualidade cartográfica do mapeamento gerado no que diz respeito ao processo de atualização destas áreas com VANT quadrotor, os principais aspectos considerados nesta pesquisa para a qualidade do produto final e a precisão dos dados, estão relacionados a: quantidade e distribuição dos pontos de controle, tanto para o processamento dos dados quanto para a acurácia posicional do produto final; qualidade dos sensores embarcados, calibração da câmera; estabilidade da plataforma e processamento utilizando ferramenta computacional.

Os pontos de controle utilizados para o processamento foram distribuídos inicialmente conforme a identificação das regiões atualizadas e os que foram utilizados para o controle de qualidade foram amostrados e distribuídos de forma uniforme, permitindo o controle da precisão absoluta. O uso de feições naturais para a coleta destas coordenadas viabilizou a liberdade para a sua obtenção e permitiu caracterizar melhor os aspectos do terreno na área de estudo, uma vez que se trata de uma área urbana.

Notou-se que um dos aspectos que contribui para inexatidão obtida no produto final está relacionada a baixa precisão do sensor embarcado, uma vez que, o alto custo de sensores mais precisos aliados a instabilidade da plataforma e os riscos operacionais que com a qual estas operam, impossibilitam o seu uso.

Neste trabalho foram apresentados os resultados obtidos em relação a aplicação do VANT quadrotor DJI Phantom 2 para a obtenção de ortofotos em diferentes regiões de uma área de estudo que contempla elementos inerentes a zona urbana para fins de atualização cartográfica. Conclui-se que os métodos utilizados são satisfatórios, contudo, o sobrevoo de vinte áreas diferentes permitiu analisar que, a medida que mais regiões foram sobrevoadas, passaram a surgir dificuldades inerentes ao processo, evidenciando que o uso do equipamento se torna dificultoso a medida que a área de estudo aumenta. Dificuldades estas relacionadas às variações atmosféricas que provocam instabilidade da plataforma, inclinação da verticalidade da câmera no momento da tomada das fotografias e a inserção dos pontos de controle para o processamento, em que em algumas regiões foi mais numeroso em relação a outras.

No que diz respeito a qualidade das câmeras digitais aliadas a melhoria das resoluções e um custo acessível no mercado, permite que estes equipamentos sejam viáveis para a fotogrametria digital, contudo, as dificuldades ocasionadas no processo de calibração da câmera em laboratório impediram que fossem corrigidas todas as distorções radiocêntricas provocadas,

ou seja, quanto mais distante do centro, maiores distorções foram verificadas. Dessa forma, tal situação implicou diretamente na qualidade dos produtos finais obtidos para atualização dos elementos da base cartográfica do SICAD na escala de 1/2.000.

A etapa de acurácia posicional calculada para o produto final atualizado foi determinada para a escala de 1/2.000, estabelecendo uma compatibilidade entre a vetorização das ortofotos geradas e aos elementos da base cartográfica do SICAD. O novo produto gerado apresentou resultados satisfatórios de acordo com as limitações e as dificuldades geradas inerentes ao processo. A viabilidade do método está relacionada com as questões técnicas dos resultados obtidos a partir da acurácia posicional calculada do produto final gerado. Contudo, no que diz respeito a questões econômicas, as análises quanto ao uso do método em determinadas etapas, para fins de atualização cartográfica, demandaram o uso de atividades que arcariam custos elevados caso fossem aplicadas em demais áreas urbanas para estes fins. Dessa forma, caso uma determinada prefeitura demandasse um projeto de atualização cartográfica para o seu município ou uma determinada área deste, utilizando os métodos descritos neste trabalho, além dos gastos com a equipe técnica e equipamentos, poderão ser gerados gastos relacionados as repetidas idas a campo para a execução dos planejamentos de voos em áreas onde houveram falhas, coleta dos pontos de controle e obtenção dos resultados na etapa de processamento dos dados a fim de gerar resultados semelhantes aos obtidos neste trabalho. Estas demandas poderão inviabilizar o uso desta técnica uma vez que o custo-benefício no que diz respeito aos prazos para entrega dos finais e os demais gastos na execução do projeto poderiam tornar a aplicação destes métodos não vantajosos para determinados órgãos.

Para trabalhos futuros algumas recomendações podem ser citadas conforme a metodologia aplicada nos estudos realizados neste projeto. Dessa forma, recomendam-se:

- Existe uma grande viabilidade para a utilização de produtos oriundos de mapeamento com VANT quadrotor devido a qualidade geométrica em que estes podem ser obtidos, contudo recomenda-se que sejam realizados estudos semelhantes ao realizado neste trabalho para outras regiões com porte menor ou maior e melhorando o apoio de campo;
- Criação de uma base adaptativa para auxiliar no posicionamento do equipamento utilizado a fim de viabilizar melhores resultados no processo de calibração das câmeras, uma vez que, a câmera não pode ser removida do equipamento e acoplada a um tripé convencional;

- Avaliação mais apurada da área de estudo, a fim de otimizar de forma melhor a distribuição dos pontos de controle tanto para o processamento das fotografias, quanto para acurácia posicional. Além disso, uso de pontos de apoio na etapa de processamento das imagens, a fim de checar a qualidade do processo de aerotriangulação;
- Todos os tipos de aeronaves, tripulados ou não, estão sujeitos a ocorrência de intervenções atmosféricas que interferem na realização das faixas de voo. Dessa forma, seria interessante a realização de estudos no intuito de avaliar a estabilização dos voos com uso da plataforma VANT, uma vez que a sua utilização se restringe a condição de ventos favoráveis, para que sejam obtidos melhores resultados fotogramétricos.
- Uso de alturas de voos diferentes em relação às áreas de estudo avaliadas, a fim de avaliar a perda de sinal desencadeada em algumas regiões utilizadas neste trabalho;
- Recomenda-se a especificação das reais capacidades técnicas do uso da plataforma VANT quadrotor a ser utilizada para cada trabalho específico, possibilitando ao usuário a obtenção dos objetivos planejados.

7. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Instrução Suplementar (IS) Nº 21-021 – Revisão A.** Apresentação de Dados Requeridos para Certificação Suplementar de Tipo. 2012. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/biblioteca/IS/2014/IS21-021A.pdf>> Acesso em: 15 mar 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Decisão nº 127, de 29 de novembro de 2011.** Autoriza a operação aérea de Aeronave Remotamente Pilotada do Departamento de Polícia Federal. Disponível em: <<http://goo.gl/OCxvF6>> Acesso em: 15 mar 2017.

ALMEIDA, J. **Ortofoto Digital.** 1989. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ALMEIDA, I. C. **Estudo sobre o uso de veículo aéreo não tripulado (vant) para mapeamento aéreo com fins de elaboração de projetos viários.** Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Católica de Pernambuco, Recife. 2014.

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

ANDRADE, J.B.D.; **Fotogrametria.** 2ª edição. 2003.

ANTUNES, A. F. B.; LINGNAU, C. **Uso de Índices de Acurácia para Avaliação de Mapas Temáticos Obtidos por Meio de Classificação Digital.** In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO, 3. Curitiba, Anais... Curitiba, 1997.

ARRUDA JR, E. R. **Mosaicagem de imagens digitais.** 94. f. Dissertação (Mestrado em Cartografia) - Setor de Ciência e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente, 2002.

ASSIS, R. R. **Utilização de Imagens Orbitais e Áreas no Estudo da Ocupação e Planejamento Urbano.** Belo Horizonte, 2001, 45p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Geoprocessamento). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.

AQUINO, A. F. D. ; TRINDADE, A. C.; NOGUEIRA, D. L.; VASCONCELOS, H.; BARBOSA, K. J.; CUNHA, M. J. P. D.; NETO, M. P. D. S.; OLIVEIRA, O. O. D.; OLIVEIRA, R. N. Q. D.. **Manual técnico de Posicionamento: Georreferenciamento de Imóveis Rurais.** 1ª Edição. Brasília. 2013.

BARBETTA, Pedro Alberto. **Estatística aplicada às ciências sociais.** Editora da UFSC. Florianópolis – SC . 2001

BENDA, F.; CÔRREA, F. de P.; ALVES, M. da G. **Modelagem Digital de Terrenos aplicada à elaboração de mapas temáticos.** Anais do II Workshop de Computação Científica da UENF- - IIWCC 2006 Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil, 2006.

BERTINI, G. C. **Uma modelagem Orientada a Objeto para o Mapa Urbano Básico de Belo Horizonte.** Prodabel/IRT-PUC/MG, Belo Horizonte: 2003.

BLACHUT, T. J.; CHRZANOWSKI, A.; SAASTAMOINEN, J. H. Cartografia y levantamientos urbanos. **Dirección general de geografía del territorio nacional**. Springer-Verlang. New York: 1979.

BRASIL. Decreto Lei nº 89.817 de 1984. **Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Brasil, 1984.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Portaria Normativa nº 606/MD, de 11 de junho de 2004**. Diário Oficial da União nº 112 - seção 01, Brasília, 2004.

BRASIL. Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA. **AIC nº 21/10, de 23 de setembro de 2010**. Informações necessárias para o uso de veículos aéreos não tripulados no espaço aéreo brasileiro. Rio de Janeiro, 2010.

BRITO, J.; COELHO, L. **Fotogrametria Digital**. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2002.

BURITY, E. F. **A Carta Cadastral Urbana – Seleção de dados a partir da análise das necessidades dos usuários**. Dissertação. IME. Rio de Janeiro: 1999.

COMISSÃO NACIONAL DE CARTOGRAFIA (CONCAR-EB). **Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV)**. Estrutura de Dados Geoespaciais Vetoriais (EDGV). Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE). Diretoria de Serviço Geográfico (DSG). 2011.

COSTA, S. E. A. P. **Controlo e Simulação de um Quadrotor convencional**. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Aeroespacial. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2008.

CTCG - Câmara Técnica de Cartografia e Geoprocessamento. **Recomendação Técnica CTCG 001/96. Padronização das Escalas Utilizadas em Trabalhos Cartográficos**. Curitiba: 1996.

DALMOLIN, Q.; LEAL, E. M. Análise da qualidade posicional em bases cartográficas geradas em CAD. **Boletim de ciências geodésicas**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 21-40, 2001.

EISENBEISS, H. **UAV Photogrammetry**. Doctor of sciences, University of Technology Dresden, Germany, 2009.

FELGUEIRAS, C. A. **Modelagem Numérica de Terreno**. INPE-8081-PRE/3896. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001.

FERRARI, R. Viagem ao SIG on line: **Planejamento Estratégico, Viabilização, Implantação e Gerenciamento de Sistemas de Informação Geográfica**. 1997. Disponível em: <<http://www.dc.ufscar.br/~ferrari/viagem/inicial.html>> Acesso em 30/09/2016.

FERREIRA, A. M. R. **Avaliação de câmara de pequeno formato transportada por veículo aéreo não tripulado – VANT, para uso em aerolevantamentos**. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas). Universidade de Brasília. Brasília, 2014.

FERNANDES, V. D. O. **Análise das cartas do mapeamento cadastral urbano no Brasil: proposta para normatização da simbologia.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. 2006. Santa Catarina. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil.

FURTADO, V. H.; GIMENES, R.A.V.; CAMARGO.; J. B. J.; ALMEIDA, J. R. J. . **Aspectos de segurança na integração de veículos aéreos não Tripulados (VANT) no espaço aéreo brasileiro.** In: Simpósio de transporte aéreo - Sitraer, Rio de Janeiro, 2008.

GALO, M., CAMARGO, P. O. **Utilização do GNSS no controle de qualidade de cartas.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 1. – COBRAC, Anais... v. 2, Florianópolis, 1994.

GALO, M., DAL POZ, A. P.; FERREIRA, F. M. **Uso de Feições no Controle de Qualidade em Cartografia.** In: CBC - Congresso Brasileiro de Cartografia, 19. Porto Alegre. Anais... Porto Alegre, Brasil, 2001.

IBGE. **Sistema Geodésico de Referência.** Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/faq.shtm> Acesso em 11 de novembro de 2016.

INCRA. **Manual Técnico de Posicionamento.** 1ª Edição, 2013.

INDE. **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV).** Brasil, v. 2.1.3, p. 16 – 20, 2012.

LAZZAROTTO, D. R.. **Avaliação da qualidade de base cartográfica por meio de indicadores e sistema de inferência FUZZY.** Dissertação (Doutorado em Ciências Geodésicas). Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - Setor de Ciências da Terra. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2005. 231p.

JORGE, L. A. C. **Metodologia para Utilização de Aeromodelos em Monitoramento Aéreo: Análise de Imagens.** Embrapa, São Carlos, 2003.

LIMA, E. M.; THOMAZ, T. A. M.; SEVERO, T. C. **Mapeamento aerofotogramétrico digital utilizando fotografias de médio formato.** Monografia (Graduação em Engenharia Cartográfica) - Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

LIMA, O. **Atualização cartográfica e geração de carta de imagem utilizando imagens de satélite de alta resolução - ALOS/DAICHI: Região do município de Cachoeira do Sul – RS.** Porto Alegre, 2011.134f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Cartográfica) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

LONGHITANO, G. A. **VANTs para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com carga perigosa.** Dissertação (Mestrado em engenharia) - Escola Politécnica Universidade de São Paulo. 2010. São Paulo. 148p.

LUZ, C. C. **Avaliação da exatidão absoluta de ortofoto obtida por meio de dados brutos oriundos de Veículos Aéreos Não Tripulados (SISVANT)**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Curitiba. Programa Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. 2015, Paraná. 118p.

MARTINS, M. A. R. **Geração de ortoimagens a partir de georreferenciamento direto de imagens digitais aéreas de pequeno formato com dados LIDAR**. Boletim de Ciências Geodésicas - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, v. 17, n. 4, 2010.

MATSUOKA, C. T.. **Atualização cartográfica urbana utilizando imagem QUICKBIRD**. Porto Alegre. 2006. Dissertação (mestrado) Universidade Federal do Rio Grande Do Sul. Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. 70p.

MERCHANT, D. C. **Spatial Accuracy Standards for Large Scale Line Maps**. In: Technical Congress on Surveying and Mapping. Proceedings. v. 1, 1982.

MIKHAIL, E. ; BETHEL, J.S.; MCGLONE, J.C. **Introduction to Modern Photogrammetry**. New York: John Wiley & Sons, 2001.

MITSHITA, E. A. **Detecção de erros grosseiros nas aerotriangulações**. 245f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) - Setor de Ciências da Terra. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1986.

NOGUEIRA JR., J. B. **Controle de qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica**. Presidente Prudente. 2003, 147 f. Tese (Doutorado em Engenharia Cartográfica) - UNESP, Campus Presidente Prudente.

PALERMO, R. A.; LEITE, T. C. **Integração de levantamento fotogramétrico aéreo com uso de VANT e levantamento fotogramétrico terrestre para o mapeamento tridimensional das ruínas de São Miguel das Missões**. Projeto Cartográfico. Curso de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

PAULINO, L. A.; CARNEIRO, A. F. T. Base de dados gráficos para Sistemas de Informações Geográficas (SIG's). **Anais do Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – COBRAC 98**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 1998.

PEGORARO, A. J.. **Estudo do potencial de um veículo aéreo não tripulado/ quadrotor, como plataforma na obtenção de dados cadastrais**. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil). Pós-Graduação em Engenharia Civil. 217p. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2013.

Pereira, R. **A Estatística e Suas Aplicações**. Porto Alegre: ed. Grafosul, 1979.

Plano Diretor de Desenvolvimento Físico e Ambiental da Universidade Federal da Bahia – **Termo de Referência** de 28 de abril de 2008. Disponível em: <https://www.ufba.br/sites/devportal.ufba.br/files/univers_nova.pdf> Acesso em de 2016

QUARITSCH, M.; STOJANOVSKI, E.; BETTSTETTER, C.; FRIEDRICH, G.; HELLWAGNER, H.; RINNER, B. **Collaborative microdrones: Applications and Research Challenges**. Turim, Itália, 2008.

REISS, M. L. L. **Reconstrução tridimensional digital de objetos a curta distância por meio de luz estruturada**. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) - Setor de Ciência e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Presidente Prudente, 2007.
REISS, M. L. L. **Fotogrametria I**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.

ROBERTO, A. J. **Extração de Informação Geográfica a partir de Fotografias Aéreas obtidas com VANTs para apoio a um SIG Municipal**. 93f. Dissertação (Mestrado. Sistema de Informações Geográficas) – Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Universidade do Porto, Porto, 2013.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento Tecnologia Transdisciplinar**. Juiz de Fora, 2000.

ROCHA, R. D. S. D. **Exatidão cartográfica para as cartas digitais urbanas**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Florianópolis. 2002. 128p. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. Florianópolis, SC.

ROSA, F. S. Viabilidade da atualização cartográfica. Departamento de Geografia. FFLCH-USP. **Revista USP**. V.8. 1994. Universidade de São Paulo.

SALISSO FILHO, J.L. **Avaliação da Qualidade do Dado Espacial Digital de acordo com os Parâmetros Estabelecidos por Usuário**. São Paulo, 2013. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SANTOS, Suzana Daniela Rocha et al. **Considerações sobre a utilização do PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica) nos dias atuais**. In: Anais do III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Pernambuco. 2010.

SANTOS, D. R. **Elementos de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto**. Curso de Engenharia Cartográfica. Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

SILVA, D. C.; MELO, I. D. F.; OLIVEIRA, R. N. Q. **Alta resolução com uso de câmaras digitais de baixo custo para mapeamento**. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. São José dos Campos. Anais... São José dos Campos, 2005.

SILVA, L. A. **Análise do padrão de exatidão cartográfica da imagem do Google Earth tendo como área de estudo a cidade de Goiânia**. Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal, Brasil. 25-30 de Abril, 2009.

SILVA, E. T. J. B. Veículos Aéreos Não Tripulados: **Panorama atual e perspectivas para o monitoramento de atividades ilícitas na Amazônia**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16 . Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu, 2013.

SILVEIRA, F. J. C.; BRITO, J. L. N. S. **Aerotriangulação pelo método dos feixes perspectivos**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação – Geomática. UFRJ. Rio de Janeiro, 2004.

SILVEIRA, T. D. A.; CARNEIRO, A. F. T.; PORTUGAL, J.. **Estruturação de bases cartográficas para sistemas de informação geográfica (SIG)**. In: Anais: II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. 2008.

STEPANIAK, M. J. *A Quadrotor Sensor Platform*. A dissertation presented to the faculty of the Russ College of Engineering and Technology of Ohio University In partial fulfillment of the requirements for the degree Doctor of Philosophy. Ohio University, 2008.

THAPA, K.; BOSSLER, J. Accuracy of Spatial Data Used in Geographic Information-Systems. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 58, p. 835-41, 1992.

TEDESCO, A. N. D. S.; ACCO, I. R. B; SOUZA, J. C.. **Estudo da geometria de imagens obtidas por vant em faixa de duto, a partir de pontos de apoio GPS**. Instituto Federal do Espírito Santo. Coordenadoria de Geomática. Curso Técnico em Geoprocessamento. 2013. 8p.

VIEIRA, M. S.. Base cartográfica contínua do estado do Amapá. In: **Revista Digital Simonsen**. Rio de Janeiro, n.3, Nov. 2015. Disponível em: <www.simonsen.br/revistasimonsen> Acessado em 25 de setembro de 2016.

WOLF, P. R. **Elements of photogrammetry with applications in GIS**. 3. ed. New York: Mac Graw Hill, 2004.

ZANARDI, R. **Geração de modelo digital de terreno a partir de par estereoscópico do sensor CCD do satélite CBERS-2 e controle de qualidade das informações altimétricas**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

8. APÊNCIDES

APENDICE 1 – IDENTIFICAÇÃO DAS FEIÇÕES COLETADAS (PONTOS NOTAVEIS)

PONTO	DATA
PAF_P01	06.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562558,622
E(m)	553265,317
Local: Pavilhão de Aulas da Federação	
	

PONTO	DATA
PAF_P02	06.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562600,729
E(m)	553310,267
Local: Pavilhão de Aulas da Federação	
	

PONTO	DATA
PAF_P03	06.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562670,423
E(m)	553365,496
Local: Pavilhão de Aulas da Federação	
	

PONTO	DATA
PAF_P04	06.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562571,387
E(m)	553355,96
Local: Pavilhão de Aulas da Federação	
	

PONTO	DATA
PAF_P05	06.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562680,555
E(m)	553219,721
Local: Pavilhão de Aulas da Federação	
	

PONTO	DATA
PAF_P06	06.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562727,852
E(m)	553246,052
Local: Pavilhão de Aulas da Federação	
	

PONTO	DATA
PAF_P07	06.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562676,848
E(m)	553182,802
Local: Pavilhão de Aulas da Federação	
	

PONTO	DATA
PAF_P08	06.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562622,159
E(m)	553127,462
Local: Pavilhão de Aulas da Federação	
	

PONTO	DATA
PAF_P10	07.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562544,435
E(m)	553208,843
Local: Pavilhão de Aulas da Federação	
	

PONTO	DATA
PAF_P11	07.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562495,862
E(m)	553149,311
Local: Pavilhão de Aulas da Federação	
	

PONTO	DATA
PAF_P12	07.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562488,39
E(m)	553216,366

Local: Pavilhão de Aulas da Federação



PONTO	DATA
PAF_P13	07.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562346,889
E(m)	553160,033

Local: Pavilhão de Aulas da Federação



PONTO	DATA
PAF_P14	07.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562469,794
E(m)	553183,941

Local: Pavilhão de Aulas da Federação



PONTO	DATA
PAF_P15	07.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562422,242
E(m)	553195,248

Local: Pavilhão de Aulas da Federação



PONTO	DATA
POLI_P01	08.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562903,473
E(m)	553088,119

Local: Escola Politécnica



PONTO	DATA
POLI_P02	08.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562946,576
E(m)	553095,306

Local: Escola Politécnica



PONTO	DATA
POLI_P03	08.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562881,748
E(m)	553065,965

Local: Escola Politécnica



PONTO	DATA
SL_P01	08.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562295,35
E(m)	552873,381

Local: São Lázaro



PONTO	DATA
SL_P02	08.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562296,626
E(m)	552896

Local: São Lázaro



PONTO	DATA
SL_P03	08.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562289,44
E(m)	552724,322

Local: São Lázaro



PONTO	DATA
SL_P04	08.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562164,212
E(m)	552724,322

Local: São Lázaro



PONTO	DATA
SL_P05	08.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562142,789
E(m)	552702,313

Local: São Lázaro



PONTO	DATA
P01.Quadra	09.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8561787,317
E(m)	552746,876
Local: Quadra de Esportes	



PONTO	DATA
P02.Quadra	09.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8561853,358
E(m)	552798,216
Local: Quadra de Esportes	





PONTO	DATA
P03.Quadra	09.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8561915,114
E(m)	552787,797
Local: Quadra de Esportes	




PONTO	DATA
P04.Quadra	09.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8561882,014
E(m)	552803,179
Local: Quadra de Esportes	



PONTO	DATA
P01.Portão	09.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562170,43
E(m)	553100,798
Local: Portão Principal	
	

PONTO	DATA
P02.Portão	09.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562130,741
E(m)	553061,722
Local: Portão Principal	
	

PONTO	DATA
P03.Portão	09.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562150,781
E(m)	553050,868
Local: Portão Principal	
	

PONTO	DATA
P01.ARQ	10.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8563094,102
E(m)	553334,459
Local: Faculdade de Arquitetura	
	

PONTO	DATA
P02.ARQ	10.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8563037,964
E(m)	553348,069
Local: Faculdade de Arquitetura	
	

PONTO	DATA
P03.ARQ	10.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562995,345
E(m)	553323,481
Local: Faculdade de Arquitetura	
	

PONTO	DATA
P01.FIS	16.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562870,74
E(m)	553379,646
Local: Pavilhão de Aulas da Federação	
	

PONTO	DATA
P02.FIS	16.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562870,74
E(m)	553379,646
Local: Pavilhão de Aulas da Federação	
	

PONTO	DATA
P03.FIS	16.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562757,083
E(m)	553424,585
Local: Pavilhão de Aulas da Federação	




PONTO	DATA
P04.FIS	16.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562701,355
E(m)	553439,606
Local: Pavilhão de Aulas da Federação	



APENDICE 2 – IDENTIFICAÇÃO DAS PONTOS DE APOIO

PONTO	DATA
Base.Fis	16.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562850,252
E(m)	553383,795
Local: Pavilhão de Aulas da Federação	
	

PONTO	DATA
Base.Portão	09.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562139,589
E(m)	553015,732
Local: Portão Principal	
	

PONTO	DATA
Base.Quadra	09.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8561808,114
E(m)	552775,639
Local: Quadra de Esportes	
	

PONTO	DATA
Base.PAF	06.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562545,666
E(m)	553219,262
Local: Portão Principal	
	

PONTO	DATA
Base.SL	08.02.2017
SIRGAS 2000 COORDENADAS UTM -39° 24S	
N(m)	8562290,192
E(m)	552876,448
Local: Quadra de Esportes	

