

GUILHERME GOMES BRASIL

**MONITORAMENTO AMBIENTAL COM A UTILIZAÇÃO DE
VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANTs)**

CURITIBA

2012

GUILHERME GOMES BRASIL

MONITORAMENTO AMBIENTAL COM A UTILIZAÇÃO DE
VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANTS)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor Tecnológico da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial na obtenção do grau de mestre.

Orientador:

Dr. José Eduardo Gonçalves

CURITIBA

2012

ii

B823m

Brasil, Guilherme Gomes

Monitoramento ambiental com a utilização de veículos aéreos não tripulados (VANTs) [manuscrito] / Guilherme Gomes Brasil. – Curitiba, 2012.

113f. : il. [algumas color.] ; 30 cm.

Impresso.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, 2012.

Orientador: José Eduardo Gonçalves

1. Monitoramento Ambiental. 2. Sensoriamento Remoto. 3. Recursos Hídricos. I. Universidade Federal do Paraná. II. Gonçalves, José Eduardo. III. Título.

CDD: 620.4



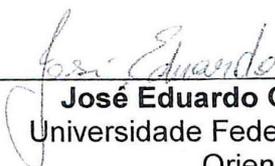
TERMO DE APROVAÇÃO

Guilherme Gomes Brasil

“Monitoriamento Ambiental com a Utilização de Veículos Aéreos não Tripulados (VANTs)”

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos professores:

PRESIDENTE:

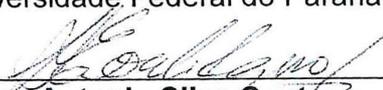


José Eduardo Gonçalves
Universidade Federal do Paraná
Orientador

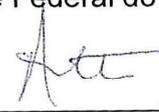
MEMBROS:



José Junji Ota
Universidade Federal do Paraná



Jorge Antonio Silva Centeno
Universidade Federal do Paraná



Eduardo Raton
Universidade Federal do Paraná

Curitiba, 29 de março de 2012

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me guia em todos os meus passos. Ao meu pai, Cícero, que me apoiou em todas as minhas decisões e me amparou sempre em horas de dúvida.

A minha mãe, Valéria, por sua paciência, zelo e confiança no meu potencial, dando-me a oportunidade e os meios para residir e estudar em outro estado, além de sempre estar pronta para me aconselhar, ajudar e escutar nos momentos de necessidade.

Ao meu orientador Dr. José Eduardo, que foi muito mais que um mentor, ajudou-me em situações difíceis e esteve presente como amigo em diversas situações.

Aos professores que me acompanharam em toda a minha vida acadêmica, principalmente aos que se envolveram direta e ou indiretamente em minha graduação principalmente aos Dr. Fernando Cartaxo, Dr. Mauro Carneiro e a Dr^a. Maria de Fátima que me acrescentaram grandes experiências tanto acadêmicas e conceituais quanto em trabalhos de caráter de extensão.

Ao Agrônomo Mário Roberto, que acreditando no meu potencial, proporcionou minha primeira experiência de estágio, na Fundação de Apoio a Universidade Federal Rural de Pernambuco, FADURPE, instituição de renome e experiência em trabalhos de consultoria científica, durante a qual desenvolvi meu trabalho de conclusão do curso graduação.

Ao engenheiro Roberto Gilson responsável pela Empresa de consultoria e engenharia Plus Engenharia LTDA, que também viabilizou oportunidade de estágio para acompanhar táticas e experiências de trabalho num mercado de extrema competitividade.

Aos Agrônomos Alexandre Queiroz, responsável pela minha indicação para estágio, de grande importância para minha vida profissional, no Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia de Pernambuco – CREA-PE, no setor de acessória técnica e João Carlos responsável pela minha supervisão e orientação durante o estágio.

A minha namorada que sempre esteve presente quando precisei.

A todos os amigos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho ou que passaram pela minha vida enriquecendo meu desenvolvimento humano e intelectual.

RESUMO

Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) são todo e qualquer tipo de aeronave que não necessita de pilotos embarcados para ser guiada. Os VANTs possuem uma enorme variedade de utilizações, em sua maioria ainda inexplorada, pois são capazes de deslocar-se e transportar equipamentos de monitoramento e sensoriamento que podem ser utilizados em diversas atividades. Graças ao atual desenvolvimento tecnológico, pode-se observar uma significativa redução do custo e do tamanho dos equipamentos e pela necessidade, cada vez mais crescente de desenvolvimento de novas tecnologias relacionadas à conservação ambiental, a sua utilização vem aumentando consideravelmente em todo o mundo. Este trabalho apresenta uma metodologia para o monitoramento de aspectos ambientais com base em fotografias aéreas de pequeno formato obtidas a partir de um VANT. A metodologia foi avaliada com base em resultados obtidos em três experimentos de monitoramento de áreas proteção ambiental. O primeiro experimento utilizado para a avaliação de metodologia de orientação exterior das imagens com pontos de apoio obtidos do Google Earth, consistiu no levantamento aéreo da borda do reservatório Moxotó, localizado em Paulo Afonso - BA. Os outros dois experimentos consistiram no monitoramento aéreo da borda do reservatório Capivari, localizado na região metropolitana de Curitiba-PR e no monitoramento de um trecho de 80 km da BR 262 localizado no pantanal do Mato Grosso do Sul. As imagens geradas nessas campanhas foram utilizadas para fins de fotointerpretação ambiental. O protótipo, e os demais equipamentos, apresentaram resultados satisfatórios para as avaliações a que foram expostos. Foram geradas imagens com qualidade e sequência adequadas, proporcionando um bom suporte nas atividades de monitoramento ambiental nas áreas avaliadas.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, monitoramento ambiental, Veículo Aéreo Não Tripulado.

ABSTRACT

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) are any type of aircraft that does not need to be guided by pilots onboard. The UAVs have a wide variety of uses, mostly of them unexplored. Due their versatility in carry a large variety of equipment they can be used a large number of activities. The technological development observed in last years promoted a significant reduction in cost and equipment size giving access to researchers around the world to use this technology for large variety of applications. This work presents a methodology for monitoring environmental aspects based on small format aerial photographs obtained from an UAV. The methodology was evaluated based on results obtained in experiments of monitoring three different environmental protection areas. The first experiment, used to test the methodology exterior orientation of images based on control points obtained from Google Earth, was carried out at the border of Moxotó reservoir, located in Paulo Afonso - BA. The others two experiments took place at Capivari reservoir, located at Curitiba metropolitan region and a road (BR 262) in Pantanal of Mato Grosso do Sul. The images generated in these campaigns were used for environmental photointerpretation. The prototype and the others equipment, showed satisfactory results for the proposal of this work. The right quality of the images provide good support for the activity of environmental monitoring.

Keywords: Remote sensing, SIMEPAR, environmental monitoring, unmanned aerial vehicle.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Imagem de pombos e pipa portando câmera fotográfica.	23
Figura 2: Fotografia tirada por John Philip de Lorenz da baía de São Francisco nos Estados Unidos após o terremoto em 1909 com a utilização de uma pipa. (Fonte: LIBRARY OF CONGRESS, 1909)	23
Figura 3: Imagem do aeromodelo RP-1.	24
Figura 4: Imagem do VANT a jato BGM-1BR.....	25
Figura 5: Imagem do VANT do projeto acauã.	26
Figura 6: Fotografia tirada durante o estudo no refúgio nacional de vida selvagem Squaw Creek.....	30
Figura 7: Visão geral da área estudada, área das ruínas demarcada com o retângulo vermelho.....	31
Figura 8: Foto gerada pelo VANT produzido pela Geocopter, numa situação de acidente no trânsito.	32
Figura 9: Primeira plataforma aérea utilizada no experimento do Novo México-USA.	33
Figura 10: Segunda plataforma aérea utilizada no experimento	34
Figura 11: Protótipo para emergências ambientais.	34
Figura 12: SAMA 01 equipado com flutuadores.....	38
Figura 13: Piloto automático e base terrestre utilizados no SAMA 01.....	40
Figura 14: Exemplificação de plano de voo.....	41
Figura 15: Área de recobrimento em função da altura H e da distância focal f	41
Figura 16: Exemplificação do comando <i>Flyto(a)</i> e <i>From to(b)</i>	44
Figura 17: Câmera digital com conectores adaptados.	45
Figura 18: (a) e (b) imagens que serão sobrepostas, (c) pontos identificados de agrupamentos de pixels análogos nas duas imagens, (d) mosaico final.....	50
Figura 19: Efeitos da deriva e desvio.	51
Figura 20: Esquema de orientação geográfica dos mosaicos.....	52
Figura 21: Localização da bacia hidrografia do rio São Francisco, localização do reservatório Moxotó e detalhe da área de estudo demarcada pelo retângulo vermelho.....	57

Figura 22: Imagem georeferenciada da área do experimento moxotó cedida pela Chesf.....	58
Figura 23: Imagem obtida a 450m de altura com máquina digital.....	59
Figura 24: Local escolhido para operação do VANT no reservatório Moxotó na Bahia.	59
Figura 25: Plano de voo realizado pelo VANT no reservatório Moxotó.....	60
Figura 26: Seções realizadas na primeira missão.....	61
Figura 27: Seções realizadas na segunda missão.....	61
Figura 28: Mapa da localização das áreas dos sobrevoos.....	63
Figura 29: Exemplo de imagem gerada da área 01 a 700m de altura.....	64
Figura 30: Localização dos pontos de controle que delimitam.....	65
Figura 31: Exemplo de imagem gerada da área 02 a 500m de altura.....	66
Figura 32: Localização dos pontos de controle que delimitam.....	67
Figura 33: Exemplo de imagem gerada da área 03 a 500m de altura.....	68
Figura 34: Localização dos pontos de controle que delimitam.....	69
Figura 35: Mapa de Localização da BR-262 entre as cidades de Anastácio e Corumbá.....	70
Figura 36: Exemplo de imagem gerada da durante o experimento a 400m de altura.	71
Figura 37: Localização dos pontos de controle que delimitam a trajetória da aeronave na segunda área.....	72
Figura 38: Deslocamento diagonal provocado pela ação do vento.....	74
Figura 39: Variação da velocidade em função do tempo de voo.....	75
Figura 40: Altura de voo da plataforma aérea em função do tempo.....	76
Figura 41: (a) Mosaico produzido com o SAMA. (b) Imagem georeferenciada extraída do Google Earth®.....	77
Figura 42: Sobreposição de um mosaico produzido com o SAMA no detalhe da imagem da ortofoto-carta cedida pela Chesf.....	78
Figura 43: Imagem gerada pelo SAMA, apresentando pontos de.....	80
Figura 44: a) Comparação entre pontos localizados no centro (a) e na periferia (b) da imagem.....	81
Figura 45: Ilustração do tamanho de um caminhão cegonha medido na imagem. ...	82

Figura 46: Exemplificação de seis medições realizadas em campo por meio de fita métrica.	83
Figura 47: Exemplificação de seis medições extraídas de uma imagem SAMA.	83
Figura 48: (a) Área da piscina na imagem do SAMA; (b) Área da piscina na ortofotocarta.	84
Figura 49: Estimativa aproximada da área ocupada por macrófitas.....	85
Figura 50: Exemplificação de mosaico gerado com imagens da área 01.	87
Figura 51: Exemplificação de mosaico gerado com imagens do experimento Capivari, na área 02.	88
Figura 52: Exemplificação de mosaico gerado com imagens do experimento 2, na área 03.	89
Figura 53: Vegetação existente na margem do rio em setembro de 2002.....	90
Figura 54: Vegetação existente na margem do rio em dezembro de 2010.....	90
Figura 55: Imagem gerada na área 01 com ocorrência de diferentes tipo de vegetação.....	91
Figura 56: Imagem para comparação obtida por satélite em 2002.....	92
Figura 57: Imagem para comparação obtida pelo VANT em 2010.....	92
Figura 58: Imagem obtida com o SAMA em dezembro de 2010.....	93
Figura 59: Imagem extraída do Google Earth® de dezembro de 2002.....	93
Figura 60: Imagem de satélite em 2002 extraída do Google Earth® para parte da área do experimento 3.....	94
Figura 61: Imagem do SAMA em 2010 para parte da área do experimento 3.....	94
Figura 62: Detalhe de imagem com ampliação máxima.....	95
Figura 63: Imagem georreferenciada obtida com o SAMA na área 03,.....	96
Figura 64: Ampliação do detalhe da erosão da imagem 64.	96
Figura 65: Primeiro exemplo de mosaico produzido neste experimento.....	97
Figura 66: Imagem da vegetação existente na margem da BR-262 em 2010,	98
Figura 67: Imagem da vegetação existente na margem da BR-262 em 2011, confeccionada com o SAMA.	98
Figura 68: Localização das áreas onde foram retirados materiais para a construção da rodovia.....	98
Figura 69: Mosaico confeccionado no último trecho do experimento.....	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Aplicações atuais das fotografias aéreas de pequeno formato.	28
Tabela 2: Características do SAMA.	37
Tabela 3: Características do SAMA 01.	38
Tabela 4: Características da Câmera Digital.	45
Tabela 5: Características das missões nas três áreas.	69
Tabela 6: Pontos utilizados para o georreferenciamento da imagem.....	76
Tabela 7: Pontos das coordenadas relacionadas e valor do Erro médio obtido.....	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP	Área de Preservação Permanente;
CINDACTA	Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo;
COPEL	Companhia Paranaense de Energia;
Chesf	Companhia Hidro Elétrica do São Francisco;
CTA	Centro Técnico Aeroespacial;
CBT	Companhia Brasileira de Tratores;
CCD	Charge-coupled Device;
DCTA	Departamento de Ciência e Tecnologia Aeronáutica;
EMQ	Erro Médio Quadrático;
GPS	Global Positioning System;
GSD	Ground Simple Distance
NASA	National Aeronautics and Space Administration;
RPV	Remotely Piloted Vehicles;
SAMA	Sistema Autônomo de Monitoramento Ambiental;
UAVs	Unmanned Aerial Vehicles;
UHE	Usina Hidrelétrica;
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado.

Coeficientes das equações

A	Área de Abrangência da Foto;
ab	Distância de Um Ponto a Outro na Foto;
AB	Distância de Um Ponto a Outro no Terreno;
B	Base Aérea Estereoscópica;
E	Escala da Fotografia Aérea;
f	Distância Focal da Câmera;
g	Lado da Fotografia Aérea Em Metros;
H	Altura de Voo;
I	Intervalo Entre as Faixas de Voo;
L_A	Lado Longitudinal do CCD;
L_B	Lado Lateral do CCD;

L_x	Lado Longitudinal da Máxima Resolução da Imagem Digital;
m	Erro Médio Quadrático;
n	Número de Pontos;
T	Intervalo de Tempo Entre Cada Captura da Imagem;
T_p	Tamanho do Pixel no Solo;
V	Velocidade da Plataforma Aérea;
Δx^2	Diferença das Coordenadas em x;
Δy^2	Diferença das Coordenadas em y;

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 4.1: Escala da Fotografia	41
Equação 4.2: Escala relacionanda as distancias de dois pontos na fotografia	42
Equação 4.3: Distância real entre as aerofotos numa mesma faixa de voo	42
Equação 4.4: Distância entre as faixas de voo.....	42
Equação 4.5: Intervalo de tempo em segundos entre a captação de cada imagem .	43
Equação 4.6: Vetor posição \tilde{H}_{ij}	43
Equação 4.7: Os quatro parâmetros da câmera.....	47
Equação 4.8: Representação exponencial para rotações	47
Equação 4.9: Correlação para pequenas mudanças na posição da imagem	47
Equação 4.10: Valor do vetor A_{ij}	47
Equação 4.11: Área de abrangência da imagem no solo.....	54
Equação 4.12: Tamanho do pixel no solo	54
Equação 6.1: Erro Médio Quadrático (EQM).....	79

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xiii
LISTA DE EQUAÇÕES	xv
1 INTRODUÇÃO	18
2 OBJETIVO.....	20
2.1 OBJETIVO GERAL	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1 MONITORAMENTO AMBIENTAL.....	21
3.2 HISTÓRICO DE UTILIZAÇÃO E DEFINIÇÃO DO VANT.....	22
3.3 FOTOGRAFIAS AÉREAS DE PEQUENO FORMATO	27
3.4 APLICAÇÕES DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS DE PEQUENO FORMATO	27
3.5 FOTOINTERPRETAÇÃO.....	28
3.6 TRABALHOS RELACIONADOS A FOTOGRAFIAS AÉREAS DE PEQUENO FORMATO	29
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
4.1 DESCRIÇÃO DO SAMA	36
4.2 PLATAFORMA AÉREA.....	37
4.3 SISTEMA DE VOO AUTÔNOMO	39
4.4 CARACTERÍSTICAS DO PLANO DE VOO	40
4.5 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE IMAGENS	45
4.6 CONFECÇÃO DOS MOSAICOS	46
4.6.1 Detecção de Feições Correspondentes	46
4.6.2 Correspondência entre imagens	48
4.6.3 Ajuste de feixe e renderização.....	48

4.6.4 Dificuldades Causadas Pelo Vento.....	50
4.7 GEORREFERENCIAMENTO DE IMAGENS	51
4.8 RESUMO DOS MÉTODOS.....	53
4.9 EXTRAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS QUANTITATIVOS.....	53
5 EXPERIMENTOS REALIZADOS	55
5.1 EXPERIMENTO 1	55
5.1.1 Área de estudo.....	55
5.1.2 Características do experimento	58
5.2 EXPERIMENTO 2	62
5.2.1 Área de estudo.....	62
5.2.2 Área 01	63
5.2.3 Área 02	65
5.2.4 Área 03	67
5.3 EXPERIMENTO 3	70
5.3.1 Área de estudo.....	70
5.3.2 Características do experimento	71
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	73
6.1 EXPERIMENTO 1	73
6.1.2 Orientação no Sistema de Coordenadas Geográficas.....	76
6.1.3 Teste de Acurácia do Georreferenciamento	78
6.1.4 Extração de Dados Quantitativos.....	82
6.2 EXPERIMENTO 2 e 3	86
6.2.1 Geração de Mosaicos e Georreferenciamento Para o Experimento 2... 86	
6.2.2 Resultados do Experimento 2	89
6.2.3 Geração de Mosaicos e Georreferenciamento Para o Experimento 3... 97	
6.2.4 Resultados do Experimento 3	98
7 CONCLUSÕES	100
8 REFERÊNCIAS.....	103

1 INTRODUÇÃO

Diante da visível diminuição dos recursos naturais em escala global, acentua-se cada vez mais a preocupação com o meio ambiente. Os recentes estudos tecnológicos e a expressiva quantidade de demandas ambientais tem desencadeado a criação de várias plataformas para coleta de dados ambientais. Dentre estas plataformas estão os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs).

O monitoramento das condições ambientais dos reservatórios das usinas hidrelétricas brasileiras gera grande demanda de recursos humanos e tempo. Isso se deve principalmente às dimensões de suas áreas, periodicidade necessária e também à tecnologia normalmente empregada. Via de regra, esse monitoramento é realizado por técnicos equipados em embarcações que percorrem as margens dos reservatórios verificando de forma visual o estado de preservação. De forma análoga, equipes percorrem o perímetro seco das Áreas de Preservação Permanente (APPs), com o objetivo de identificar possíveis irregularidades que possam degradar a qualidade ambiental dessas áreas.

Além da grande demanda de tempo e recursos financeiros, esse procedimento é pouco eficaz devido à visada do observador, que o impede de identificar problemas devido a obstáculos que obstruem a sua visão.

Esse tipo de problema pode ser contornado, com a utilização imagens obtidas por meio de satélites ou de aerofotogrametria, porém, tais alternativas apresentam-se demasiadamente onerosas, o que impossibilita ou dificulta a realização do monitoramento de forma periódica. Outro fator importante a ser considerado é apresentado por Cunha (2009) que ressalta que tanto no voo fotogramétrico quanto com sensores espaciais possuem um custo inviável, quando se deseja realizar uma análise temática apenas de uma pequena área isolada.

Neste aspecto os VANTs apresentam-se como uma alternativa promissora, uma vez que o seu baixo custo operacional permite a realização de levantamentos periódicos, viabilizando a identificação de mudanças no uso e ocupação do solo em áreas de preservação permanente ou em qualquer área de interesse ambiental. Hardin e Jackson (2005) descrevem que a utilização desses sistemas autônomos pode suprir

uma lacuna existente entre levantamentos de campos e imagens de satélites orbitais tanto em cobertura espacial como no monitoramento contínuo.

Um VANT consiste em uma plataforma com capacidade de realizar missões de voo pré-programadas de forma autônoma, sem a necessidade da interferência de um piloto no interior do veículo. Essas plataformas possuem características diversas, dependendo fundamentalmente do tipo de missão para a qual foi concebida. Entre os vários tipos de VANTs é possível destacar: dirigíveis, helicópteros, aviões entre outros. No Brasil, os primeiros estudos a respeito de VANTs ocorreram na década De 80, quando o Centro Técnico Aeroespacial (CTA) desenvolveu o projeto Acauã para fins militares.

Inicialmente os VANTs foram construídos para fins militares, porém hoje estes sistemas estão sendo adaptados ou reformulados para coletas de diversas informações. O uso de Veículos Aéreos Não Tripulados já é praticamente aceito na comunidade científica de todo o mundo. A agência florestal americana em conjunto com a NASA desenvolveu, recentemente, um projeto que apresentou a viabilidade de utilização de VANTs no monitoramento de incêndios florestais na Califórnia (NASA, 2009).

A ênfase da utilização está nas aplicações de imagens georreferenciadas com diferentes níveis de resolução. Dentre as imagens de alta resolução espacial, as obtidas através de VANT têm grande potencial para monitorar a variabilidade espacial das alterações no estado da cobertura vegetal (Quilter e Anderson, 2001).

Estudou-se neste trabalho a aplicabilidade do Sistema Autônomo de Monitoramento Ambiental (SAMA), construído a partir da integração do piloto automático MP2128g e uma câmera digital em uma plataforma área, para averiguação e identificação de mudanças de perfil ambiental, com foco em APPs.

Para isso foram utilizadas imagens da base do *Google Earth*® e imagens pretéritas cedidas pelas companhias do setor elétrico Chesf e COPEL. O custo desta tecnologia em relação à aerofotogrametria, que é em torno de 5%, mostra-se como um dos principais atrativos. Podendo ser desenvolvida utilizando-se de poucos técnicos para executar o levantamento, diminuindo assim o custo com mão de obra, já que o custo com o próprio equipamento já é bem reduzido (PIOVESAN, 2002).

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste trabalho é propor uma metodologia baseada em software de processamento de imagem de baixo custo e dados públicos disponíveis no Google Earth®, para fins de fotointerpretação ambiental com imagens geradas a partir do Sistema SAMA.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo principal desta pesquisa, os seguintes objetivos específicos são definidos:

- estudar a operacionalidade do sistema para efetuar monitoramento de Áreas de Preservação Permanente (APP);
- interpretar as imagens visando à identificação de mudanças no uso e ocupação do solo em App's;
- estudar a viabilidade de se obter produtos métricos com o uso desta tecnologia;
- apresentar vantagens e desvantagens da utilização do SAMA, para o estudo de avaliação de impactos ambientais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 MONITORAMENTO AMBIENTAL

O monitoramento ambiental é definido, segundo Braga (2009), como sendo a medição contínua ou sazonal em um determinado ambiente. Podendo representar, por exemplo, a qualidade e a quantidade de água, o uso e ocupação do solo, o desenvolvimento da cobertura vegetal, sendo que tais informações têm de ser confiáveis e de representatividade temporal para uma possível comparação.

Para Neves (2006), este controle se apresenta como uma importante ferramenta para a administração dos recursos naturais. Oferecendo conhecimento e informações, para cingir os sistemas ambientais e dar suporte às políticas ambientais e tomadas de decisões.

O monitoramento deve estar inserido no contexto de toda gestão ambiental, principalmente no tocante da tomada de decisão, licenciamentos e suporte à fiscalização (BRAGA, 2009). Na lista a seguir são apresentadas às etapas do monitoramento ambiental.

- a. Discussão Prévia;
- b. Coleta de Dados;
- c. Análises Laboratoriais;
- d. Manejo de Dados;
- e. Análise de Dados;
- f. Relatório;
- g. Utilização das Informações;
- h. Apresentação dos Resultados.

O monitoramento ambiental é uma prática de coleta de dados, estudo e acompanhamento das variáveis ambientais, para identificar e avaliar qualitativa e ou quantitativamente, com base nesses levantamentos. O monitoramento ambiental fornece informações sobre fatores como as condições dos recursos naturais em uma

determinada época, como também suas possíveis tendências ao longo do tempo. Apresentando as influências do estado de conservação, preservação, degradação e recuperação ambiental da região estudada. Os avanços em tecnologia de monitoramento ambiental vêm ganhando muito espaço na sociedade e em muitos ramos de atividades econômicas, como as agrícolas que comumente apresentam forte impacto ao meio ambiente (EMBRAPA, 2007).

Paine (2003), descreve que o monitoramento ambiental usual apresenta a comparação de um determinado ponto no tempo, na maioria das vezes o presente, com algum dado recolhido ao longo de algum período de tempo, após ter ocorrido algum evento. Na maioria das vezes o monitoramento costuma começar após algum problema identificado, porém, para um resultado mais preciso seria necessário um longo prazo de análises sucessivas.

3.2 HISTÓRICO DE UTILIZAÇÃO E DEFINIÇÃO DO VANT

VANT ou comumente conhecido em inglês como UAVs (Unmanned Aerial Vehicles), é o termo utilizado para todo e qualquer tipo de aeronave controlada à distância, por meios eletrônicos e computacionais sob governança humana, são veículos controlados de forma remota, semiautônoma, autônoma, ou uma combinação destes. Quando o VANT é Comparado com aeronaves tripuladas, fica evidenciada que a principal diferença entre os dois sistemas é a ausência do piloto na aeronave. Tal fato não implica essencialmente que um VANT voa totalmente de forma autônoma. Muitas vezes, o número de operadores responsáveis pelo VANT é ainda maior do que em uma aeronave convencional (Everaerts, 2008) e (NERIS, 2001).

As primeiras aplicações registradas de VANTs foram com balões e pipas. Desde meados do século XIX o homem desenvolve técnicas para a fotogrametria aérea. Newhall (1969), descreve que já em 1858 foram registradas as primeiras fotografias aéreas por Gaspard Tournachon num balão tripulado, em Paris e pouco tempo depois câmeras foram presas em pombos e pipas para fins de espionagem militar, mas que acabaram servindo para vários outros propósitos. Na Figura 1 podem

ser observadas imagens da época e na Figura 2 uma fotografia tirada por uma máquina acoplada numa pipa.

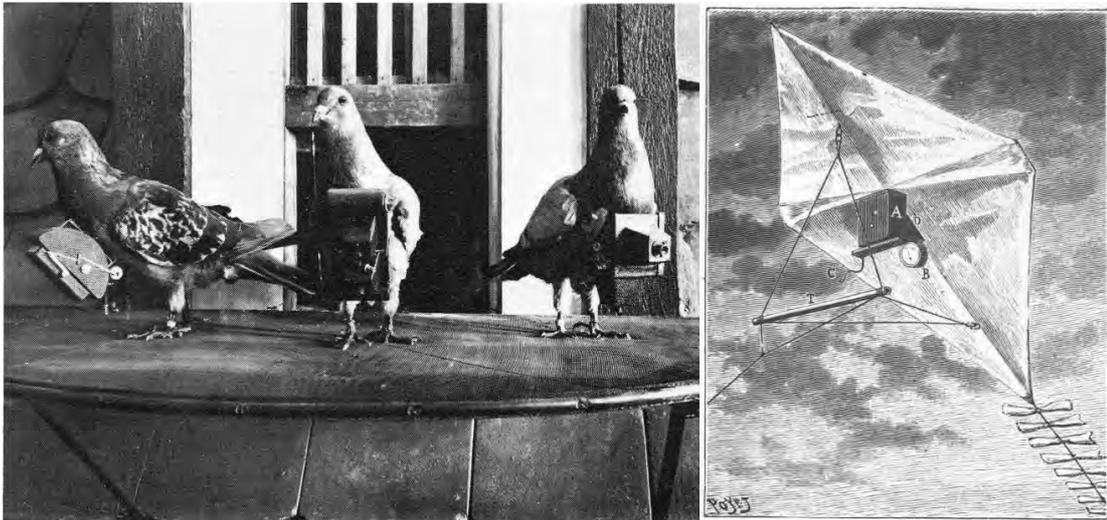


Figura 1: Imagem de pombos e pipa portando câmera fotográfica.
(Fonte: NEWHALL, 1969)



Figura 2: Fotografia tirada por John Philip de Lorenz da baía de São Francisco nos Estados Unidos após o terremoto em 1909 com a utilização de uma pipa. (Fonte: LIBRARY OF CONGRESS, 1909)

Puscov (2002), apresenta um breve resumo da evolução do VANT, iniciando pelo experimento de Douglas Archibald, que em 1883, utilizou um anemômetro preso a uma linha de pipa. Para obter diferentes medidas de velocidade do vento em altitudes de até 1.200 pés. E cinco anos mais tarde Arthur Batat instala uma câmera em uma pipa para fazer a primeira fotografia aérea a partir de uma pipa. Em 20 de junho de

1888 na França Charles Kettering projeta o primeiro avião não tripulado, o Kettering Aerial Torpedo, que era uma aeronave guiada por um sistema de pré-pneumático e controles elétricos. Depois de tempo predeterminado, o circuito elétrico iria fechar desligando assim o motor. As asas seriam liberadas e a fuselagem com uma ogiva carregada com explosivos cairia sobre o alvo.

Ainda segundo o autor anterior o RP-1, apresentado na Figura 3 foi a primeira aeronave rádio controlada ou RPV (Remotely Piloted Vehicles). Sendo desenvolvido por Reginald Denny, em 1935. Várias versões se seguiram após o RP-1. Durante a Segunda Guerra Mundial foram construídos quase quinze mil VANTs. Em 1962, a empresa norte-americana, Ryan Aeronáutica começou a desenvolver equipamento que futuramente seriam chamados de Drones. Esses Drones são VANTs que possuem toda uma sistemática envolvendo robótica e funções de hardware e softwares capazes de garantir elevada autonomia. Eram acoplados em aviões de reconhecimento denominados AQM-34 'Bug Lightning', os quais foram responsáveis por quase três mil e quinhentas missões no Sudeste Asiático durante a Guerra do Vietnã.

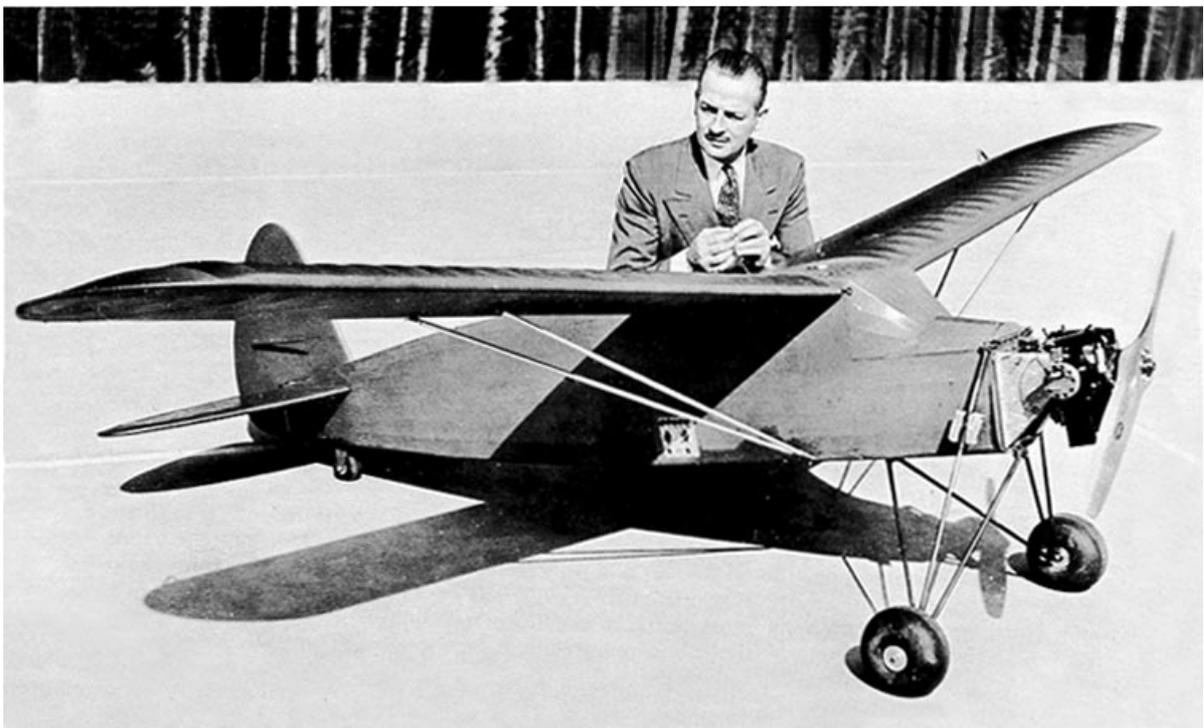


Figura 3: Imagem do aeromodelo RP-1.
Fonte: (RPAV, 1935)

Pode-se observar que o desenvolvimento dos VANT's esteve sempre muito atrelado aos objetivos militares, o que determinou seus maiores avanços. Exatamente da mesma forma como aconteceu no início da aerofotogrametria e do sensoriamento remoto.

Um marco histórico na utilização dos VANT foi durante a Guerra do Líbano, em 1982, no Vale do Bekaa, quando Israel destruiu 16 das 17 baterias antiaéreas sírias, após realizar o reconhecimento do local com um VANT. Outro importante avanço foi à apresentação em 2002 do VANT americano "Predator", usado durante a guerra do Afeganistão, sendo o primeiro veículo não tripulado com capacidade de lançar mísseis. O crescimento no emprego militar dos VANTs teve um incremento após os atentados de 11 de setembro de 2001, quando os Estados Unidos aumentaram muito o orçamento de projetos de aeronaves não tripuladas (SILVEIRA, 2005).

A Partir dos anos 80 o Brasil passou a investir na área de VANTs, A CBT (Companhia Brasileira de Tratores), de São Carlos, São Paulo, encomendou ao então CTA (Centro Tecnológico da Aeronáutica) que nos dias atuais chama-se DCTA (Departamento de Ciência e Tecnologia Aeronáutica) o desenvolvimento de uma pequena turbina (posteriormente Tietê TJ-2) para aloca-la em um VANT chamado de BQM-1BR ilustrado na Figura 4, desenvolvido para ser um alvo aéreo mais barato do que seu concorrente americano, porém tal VANT a jato ficou apenas no protótipo, que hoje se encontra no museu da TAM (PAULA, 2006).

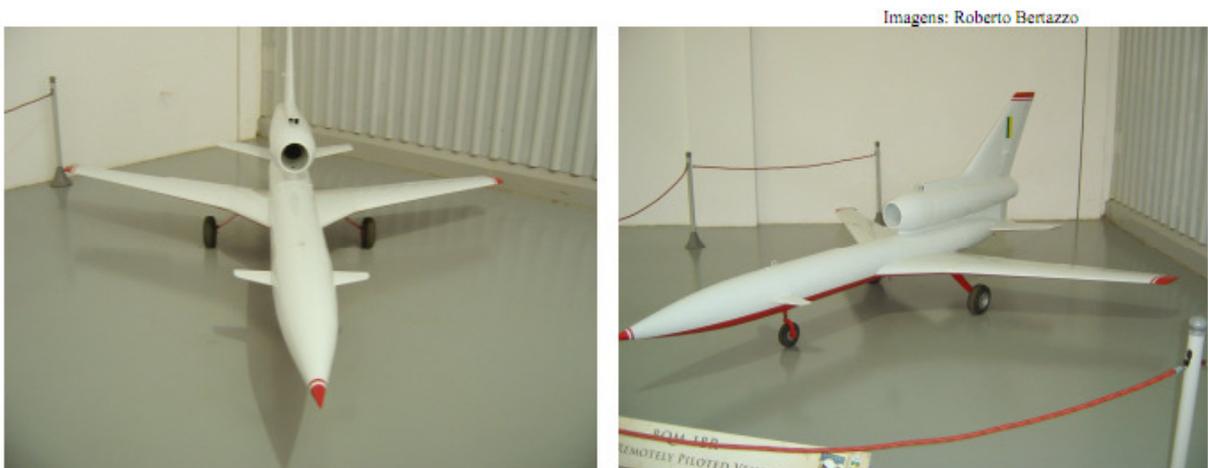


Figura 4: Imagem do VANT a jato BQM-1BR
Fonte: (PAULA, 2006)

A partir desta primeira iniciativa o CTA passou a desenvolver projetos específicos de VANTs com objetivos iniciais de alvos aéreos, o primeiro foi o Projeto Acauã entre os anos de 1984 até 1988, visando aperfeiçoar seus sistemas de controle e telemetria, este projeto foi paralisado por cortes de recursos orçamentários (OLIVEIRA, 2005 e 2006). Na Figura 5 a imagem do primeiro protótipo do projeto Acauã.



Figura 5: Imagem do VANT do projeto acauã.
Fonte: (OLIVEIRA, 2006)

Ainda segundo Oliveira (2005), a CTA continuou com as pesquisas de alvos aéreos manobráveis, trabalhando com o Projeto AAM que durou de 1988 até 1990 para testar os mísseis piranha.

Os estudos ainda continuaram no CTA com o Projeto VANT até sua última edição ser finalizada em 2010 (INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO, 2010). Nos dias atuais existem diversas iniciativas em desenvolvimento de VANTs, inclusive para fins civis, algumas empresas como a AGX Tecnologia Ltda e a Santos Lab desenvolvem projetos e pesquisas voltados para fins não militares.

Um ponto importante no desenvolvimento da tecnologia de VANTs para uso civil é observar que não se dispõe dos recursos financeiros da área militar que

normalmente são bem elevados. Neste contexto, para se viabilizar o uso civil os VANTs devem ter custos de desenvolvimento, operacionais e de despesas que retornem durante o ciclo de vida dos respectivos projetos (KOLDAEV, 2009).

3.3 FOTOGRAFIAS AÉREAS DE PEQUENO FORMATO

Fotografias Aéreas são fotos obtidas por câmeras embarcadas em algum veículo aéreo. Para Moreira (2003), as fotografias aéreas podem ser amplamente utilizadas, nas mais diversas atividades, como no planejamento de áreas urbanas, na cartografia, controle de queimadas e atividades agrícolas.

Disperati (1991), apresenta fotografias aéreas de pequeno formato como sendo fotografias captadas com câmeras não métricas, afirmando que qualquer pessoa que esteja dentro de uma aeronave pode fotografar por sua janela e obter uma fotografia aérea de pequeno formato.

3.4 APLICAÇÕES DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS DE PEQUENO FORMATO

As fotografias aéreas de pequeno formato são utilizadas com bastante frequência nos vários temas de natureza florestal, uso do solo urbano e rural, geologia, geografia, arqueologia de regiões costeiras, e outras. Segundo Disperati (1991) *apud* Ulliman (1987), estas imagens têm sido utilizadas com finalidades de mapeamento e classificação, interpretação, medição, contagem e observação e, uso geral.

Alguns exemplos que o referido autor apresenta são descritos no Tabela 1.

CLASSIFICAÇÃO E MAPEAMENTO	Educação sobre o uso do solo
Uso e ocupação do solo	Problemas de irrigação e drenagem
Limites de bacia hidrográfica	Análise de impacto ambiental
Solo sem vegetação	Navegação terrestre
INTERPRETAÇÃO	Procura e salvamento
Terra de uso agrícola e danos em culturas	Atividades didáticas em sala de aula
Limites de propriedades	OBSERVAÇÃO E CONTAGEM

Características dos rios	Entulhos
Resíduos das plantações	Árvores mortas para retirada
Condições de terras arrendadas (para finalidades legais)	Retirada de madeira
Invasão de propriedade	Verificação de dano e doenças em plantios
Práticas silviculturais	Grupos de animais em pradarias
Demarcação dos limites de propriedade	Limites de propriedades
Desenvolvimento da exploração florestal	Regeneração natural
Águas subterrâneas	Árvores individuais para finalidade de registro
Área com aplicação de herbicida	Estruturas úteis
Sítios históricos	MEDIDAS
Deficiências de nutrientes em reflorestamento de Pinus	Ponte e características locais
Área de lixívia	Limites ecológicos
Plantas aquáticas submersas	Desmoraamentos
Infestações de pragas	Resíduos florestais
Danos Causados em desastres ambientais	Área preparada para ocupação
USO GERAL	Área com madeira comercial
Aplicação da lei de conservação	Sistemas de estradas e caminhos

Tabela 1: Aplicações atuais das fotografias aéreas de pequeno formato.
(Fonte: Adaptado de Disperati (1991) *apud* Ulliman, 1987)

Muitas outras aplicações podem ser observadas no livro de Disperati (2007), como o trabalho de manejo e caracterização em atividades florestais, áreas de invasão urbana e estudos relacionados a levantamentos de aspectos ambientais no Rio grande do Norte, Argentina e Portugal.

3.5 FOTOINTERPRETAÇÃO

Para Quackenbush Jr. (1960), a “fotointerpretação é o ato de examinar imagens fotográficas com o fim de identificar objetos e determinar seus significados”. Esta definição é aceita no meio acadêmico, sendo importante por indicar que cada objeto considerado é atribuído um nome específico, porém, se apresenta de forma muito simples (DISPERATI, 2007).

Difere-se a fotointerpretação da fotogrametria de acordo com o tratamento do dado. A fotogrametria explora o aspecto quantitativo, observando a acurácia posicional e a geométrica dos objetos, enquanto a fotointerpretação verifica o aspecto qualitativo que está relacionado com a significância do objeto. No entanto vale lembrar que para a cartografia tanto os aspectos qualitativos quanto quantitativos dos dados são importantes e seu grau de acurácia e/ou detalhe dependem da escala do mapeamento (WOLF 1988).

No campo da engenharia a fotointerpretação pode ser usada em estudos de localização de estradas, usinas hidrelétricas, alternativas de traçados de linhas de transmissão de energia, exploração de jazidas minerais, projetos agrícolas, irrigação, planejamento urbano e tantos outros.

3.6 TRABALHOS RELACIONADOS A FOTOGRAFIAS AÉREAS DE PEQUENO FORMATO

Em 2001 foi realizado um estudo em Portugal para mapear uma doença que ataca os castanheiros em fase de crescimento conhecida como *Chestnut ink*, utilizando-se de fotografias aéreas de pequeno formato, a doença caracteriza-se por alterar rapidamente a cor das folhas das árvores permitindo assim uma possível identificação aérea das áreas contaminadas (MARTINS, 2001).

Os pesquisadores identificaram escassez de folhas ou mudança nas cores da folhagem da copa dos castanheiros, um posterior levantamento em solo constatou a acurácia por meio de imagens da identificação das árvores doentes, revelando-se muito satisfatório.

Em 2002 pesquisadores no Quênia realizaram o Mapeamento e Monitoramento da erosão eólica no centro do Vale Rift usando fotografias aéreas de pequeno formato. Para eles o uso apresentou-se bem promissor em termos de acurácia geométrica, qualidade visual e relação custo-benefício. As imagens permitiram uma avaliação detalhada do estado atual de erosão seguida de uma análise espaço-temporal e as tendências em relação a alguns dos principais fatores ambientais. Tanto a captura de imagens quanto a análise do resultado durou apenas duas semanas, sendo o principal empecilho a realização do trabalho as condições climáticas (HENNEMANN, 2002).

Também em 2002 na Austrália cientistas utilizaram fotografias aéreas para avaliar a mudança da vegetação e posteriormente apresentar uma relação para a evolução histórica da vegetação, através da fotointerpretação. Obtiveram resultados satisfatórios principalmente no tocante a áreas desmatadas e contração ou expansão de áreas vegetadas atribuindo uma relação direta com regimes de pastoreio ou de queimadas. Concluíram também que as fotos poderiam ser utilizadas para avaliar, reflorestamentos, mudanças nos limites de vegetação, a densidade de árvores, composição da comunidade e o diâmetro da coroa das árvores (FENSHAM, 2002).

No Kansas pesquisadores da Emporia State University realizaram em 2003 um estudo para avaliar a possibilidade de se utilizar fotografias aéreas de pequeno formato para monitorar o refúgio nacional de vida selvagem Squaw Creek, chegando à conclusão que as fotografias poderiam ser utilizadas na localização de ninhos dos animais por apresentarem excelente resolução e nitidez (ACOSTA, 2003). Na Figura 6 uma fotografia de uma área alagada tirada durante este estudo.



Figura 6: Fotografia tirada durante o estudo no refúgio nacional de vida selvagem Squaw Creek.
(Fonte: ACOSTA, 2003)

Pesquisadores do *Institute of Geodesy and Photogrammetry da ETH Hoenggerberg* em conjunto com o *German Archaeological Institute da KAAK Bonn*,

desenvolveram um sistema para a gravação de sítios arqueológicos com a utilização de um VANT, sendo empregado num Projeto Arqueológico na costa sul do Peru, num local de difícil acesso. Na Figura 7 é apresentada a área sobrevoada pelo VANT neste experimento, a área de interesse está demarcada pelo retângulo (EISENBEISS, 2005).



Figura 7: Visão geral da área estudada, área das ruínas demarcada com o retângulo vermelho.
(Fonte: EISENBEISS, 2005)

O sistema VANT usado neste experimento atingiu no geral suas expectativas. Adquiriu imagens de acordo com requisitos específicos de projeto, funcionando rapidamente, eficiente e de forma precisa, de modo que 95% do sítio arqueológico pode ser gravado em apenas um dia (EISENBEISS, 2005).

Na Bélgica a empresa Geocopter desenvolveu em 2006 um VANT que se utiliza de um helicóptero como plataforma aérea equipado com uma câmera fotográfica digital, Este VANT foi desenvolvido para ser utilizado em operações que necessitem agilidade,

como em situações de primeiros socorros, de emergência e as operações de recuperação no caso de um desastre natural ou terrorista, podendo também ser aplicado para outros aproveitamentos, como na inspeção do trabalho (HAARBRINK, 2006).

Na Figura 8 um exemplo de imagem gerada pelo VANT em uma situação de acidente no trânsito.



Figura 8: Foto gerada pelo VANT produzido pela Geocopter, numa situação de acidente no trânsito.
(Fonte: HAARBRINK, 2006)

A empresa realizou vários testes para confirmar a eficácia dos equipamentos em situação de emergências. O sistema permitiu aos socorristas terem acesso em tempo real a imagens de alta Resolução georreferenciadas que podem ser facilmente combinadas com as bases de dados de geoinformação. O sistema apresentou-se rápido, seguro e acessível para coletar, e processar ortofotos de alta resolução (HAARBRINK, 2006).

No Novo México-USA, pesquisadores da New Mexico State University realizaram um experimento para investigar a viabilidade de utilização de VANTs para o mapeamento de pastagens, sua avaliação e monitoramento, por meio de imagens

aéreas. Utilizando dois VANTs que se diferiam em tamanho, peso, capacidade de carga, duração do voo, GPS capacidade de orientação e custo. O primeiro sistema era um aeromodelo modificado para acomodar uma câmera digital e o segundo uma plataforma aérea construída para ter uma autonomia elevada e acomodar uma câmera de vídeo a cores e várias câmeras digitais. Foram realizados processos de correção da geometria da lente e aerotriangulação das imagens para que fosse obtido o máximo em precisão que ambos os sistemas poderiam apresentar (LALIBERTE, 2007).

Os pesquisadores da New Mexico State University chegaram à conclusão que ambos os sistemas testados têm aplicabilidade para o mapeamento de pastagens. O primeiro seria uma alternativa de baixo custo, que permitiria sua utilização por administradores de terras ou agências com o financiamento limitado, e o segundo sistema seria mais adequado para fins de pesquisa, onde a consistência, repetibilidade e confiabilidade de aquisição de imagem são fundamentais (LALIBERTE, 2007).

As Figuras 9 e 10 apresentam as duas plataformas aéreas utilizadas neste experimento.



Figura 9: Primeira plataforma aérea utilizada no experimento do Novo México-USA.
(Fonte: LALIBERTE, 2007)



Figura 10: Segunda plataforma aérea utilizada no experimento do Novo México-USA, demarcada com o retângulo.

(Fonte: LALIBERTE, 2007)

Na Itália cientistas do *Politecnico di Torino* desenvolveram um VANT para ser utilizado em situações de emergências ambientais, procurando alcançar um equipamento de tamanho reduzido e de fácil manuseio, o protótipo apresenta 2 metros de envergadura e cerca de 8 kg com o tanque de combustível cheio. Na Figura 11, o protótipo desenvolvido neste experimento (MARENCHINO, 2009).



Figura 11: Protótipo para emergências ambientais.

(Fonte: MARENCHINO, 2009)

Concluiu-se neste experimento que o protótipo foi capaz de gerar rapidamente mapas de boa qualidade, porém, o equipamento teria de ser aperfeiçoado na aquisição de dados automáticos para melhorar a identificação de construções (MARENCHINO, 2009).

As fotografias aéreas de pequeno formato também foram empregadas para auxiliar na manutenção de pontes e pavimentação de estradas na Carolina do Norte e outros estados dos Estados Unidos da América, de posse das fotografias os técnicos puderam identificar rachaduras e outros problemas nas construções (CHEN, 2011).

No Brasil estudantes e pesquisadores de diversas áreas tem se interessado em realizar algum tipo de levantamento foto interpretativo com fotografias aéreas de

pequeno formato. Monteiro (2000) exemplifica uma metodologia de mapeamento aéreo com fotografias aéreas de pequeno formato aplicadas no planejamento e gerenciamento de unidades de conservação, tendo êxito no cumprimento de seus objetivos.

Junior (2001), descreve em um artigo feições erosivas presentes na falésia de Tabatinga, Rio Grande do Norte, na metodologia é apresentado que uma das etapas foi a aquisição de fotografias aéreas de pequeno formato, e sua posterior análise. Que se mostrou extremamente útil para esse tipo de estudo em função do nível de detalhe que pode mostrar e do seu baixo custo quando comparado às fotografias aéreas convencionais.

Gonçalves (2005), apresenta que a utilização de fotografias aéreas de pequeno formato na identificação de áreas de preservação permanente (APPs) pode ser uma alternativa à utilização de cenas de alta resolução espacial, obtidas a partir de sensores orbitais, para isso realizou um experimento para comprovar sua eficácia na identificação de áreas antrópicas dentro de APPs o levantamento aéreo foi realizado com 100% de recobrimento, em uma área total de 16km, na região da comunidade do Cedro, em Mineiros-GO.

Este mesmo autor afirma que ainda que com as fotografias apresentando um acumulado de distorções, o levantamento se mostrou eficaz, principalmente para estudos preliminares e planejamento de recuperação de áreas de preservação permanente, identificando informações de uso e ocupação da terra e locais onde deveriam ser realizados programas de recuperação.

Cunha (2009), realiza um levantamento utilizando imagens de pequeno formato como instrumento na elaboração e implantação de projetos costeiros, exaltando que as aerofotos são as mais indicadas para certos tipos de levantamentos, quando se leva em consideração, facilidade de obtenção, capacidade de tratamento digital, cobertura de nuvens e possibilidade de realização de novos levantamentos na escala pretendida em tempo real, sendo as fotografias aéreas de pequeno formato uma boa alternativa na identificação de áreas de preservação permanente, creditando que com certas ressalvas as câmeras digitais não métricas e de pequeno formato tem real potencial para uso em levantamentos aerofotogramétricos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta metodologia foi subdividida em itens para facilitar a compreensão de todas as etapas do processo, desde a descrição geral do sistema seus equipamentos e funcionalidades até as técnicas e procedimentos desenvolvidos ou adequados ao SAMA.

Foram utilizados para o embasamento deste trabalho três experimentos, o primeiro foi realizado com o intuito de se verificar a precisão geográfica que o SAMA poderia apresentar em relação a uma ortofoto-carta pretérita da área estudada, cedida pela Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (Chesf), posteriormente denominada neste trabalho apenas de ortofoto-carta.

As imagens obtidas no segundo e terceiro experimentos foram utilizadas para analisar aspectos de interesse ambiental. Foi verificado se a qualidade das imagens permitiria identificar mudanças no uso e ocupação no solo.

4.1 DESCRIÇÃO DO SAMA

O Sistema Autônomo de Monitoramento Ambiental (SAMA) consiste em um conjunto de seis componentes e pode ser operado em campo com um mínimo de dois técnicos: um responsável pela montagem e manutenção dos equipamentos e o outro pela operação, programação e acompanhamento do plano de voo. A seguir é apresentada a descrição dos componentes:

- a. Piloto automático embarcado na aeronave: Consiste no equipamento que executa as funções pré-determinadas na aeronave, controlando também a câmera fotográfica;
- b. Software Horizon®: Suporte lógico para configuração do piloto automático. Nele é inserida toda a programação que a plataforma aérea executará. A orientação dos pontos é realizada por meio de alguma base disponível como a do Google Earth®;

- c. Base terrestre de telemetria: Equipamento de recepção e emissão de dados para a plataforma aérea;
- d. Notebook: Microcomputador portátil usado para o acompanhamento da plataforma aérea em campo via software Horizon®, desenvolvimento do plano de voo e posterior tratamento das imagens;
- e. Câmera digital convencional: câmera fotográfica comandada pelo piloto automático;
- f. Plataforma aérea: aeronave que executa a missão e embarca os equipamentos do sistema de auto direção e aquisição das imagens.

O sistema SAMA foi desenvolvido com o intuito de se obter um sistema de monitoramento ambiental de baixo custo, tanto de equipamentos quanto de operação. Nesse sentido, optou-se pela integração de componentes comerciais, como máquinas fotográficas convencionais, aeromodelos, etc. O quadro 02 apresenta os principais componentes do sistema SAMA.

Tabela 2: Características do SAMA.

Equipamento	Modelo	Empresa
Plataforma aérea	Aeromodelo comercial (réplica do hidroavião norte-americano Piper J3)	Hangar-9
Câmera digital	W 300	Sony
Piloto automático	MP2128 LRC	Microplot
Base terrestre	LRC 2.4 GHz	Microplot
Software	Horizon 4.2	Microplot

4.2 PLATAFORMA AÉREA

A plataforma aérea (Figura 12) que compõe esse sistema foi adaptada a partir de um aeromodelo convencional para receber o piloto automático que o habilita a

executar voos autônomos além do alcance visual do operador. As principais características dessa aeronave, nomeada de SAMA 01, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 3: Características do SAMA 01.

Envergadura	2,5 m
Comprimento	1,8 m
Peso	9,5 kg
Motor	DLE 30.0 cc
Combustível	Gasolina de Aviação
Autonomia	60 minutos
Velocidade	70km/h

Sua configuração original foi alterada para aumentar sua autonomia e espaço interno propiciando a acomodação da câmera fotográfica digital, e dos componentes do piloto automático. As principais modificações foram a adaptação de um tanque de combustível maior e a troca das baterias por outras de maior capacidade.



Figura 12: SAMA 01 equipado com flutuadores.

A instalação de flutuadores (Figura 12) permitiu efetuar operações utilizando o espelho da água como pista de pouso e decolagem, o que solucionou o problema de encontrar áreas próximas aos reservatórios adequadas para operar esse tipo de equipamento.

4.3 SISTEMA DE VOO AUTÔNOMO

O sistema que possibilita a realização de voos autônomos é composto pelo piloto automático, uma base terrestre e um software.

O piloto automático apresenta acelerômetros, sensores de pressão dinâmico e estático, GPS e uma bússola. Com esses sensores o piloto automático pode determinar a atitude do avião nos três eixos, sua posição geográfica, velocidade e a altura, com essas informações pode estabilizar o voo da aeronave e é capaz de percorrer uma trajetória pré-definida.

A base terrestre é utilizada para que o operador do sistema possa acompanhar o comportamento da aeronave durante a execução do voo. As informações transmitidas pela aeronave para a base terrestre constam de: posição geográfica, altura de voo, voltagem das baterias, velocidade e inclinação. Com isso, é possível verificar se o plano de voo está sendo executado como programado. Caso seja detectado algum desvio em relação ao plano original, o operador pode assumir o controle e recuperar a aeronave.

O software representa a interface gráfica entre o operador e o piloto automático. Ele é utilizado para desenhar o plano de voo a partir de imagens pretéritas e também para simular uma missão. A Figura 13 mostra a base terrestre e do piloto automático utilizados neste trabalho.

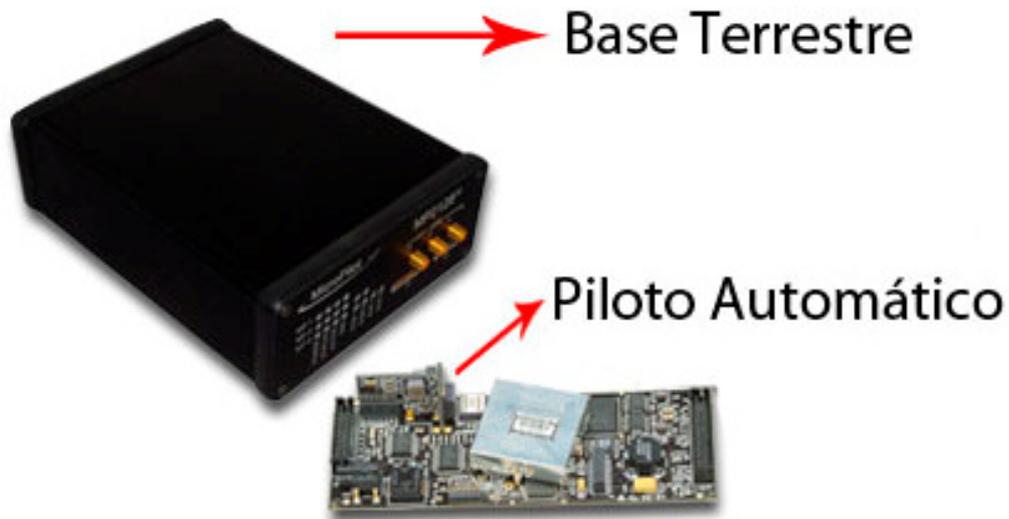


Figura 13: Piloto automático e base terrestre utilizados no SAMA 01.

4.4 CARACTERÍSTICAS DO PLANO DE VOO

Neste capítulo será apresentado o procedimento de confecção do caminho que a aeronave deve percorrer quando em voo, denominado de plano de voo.

Para sua confecção se faz necessário que o operador conheça a área que deseja sobrevoar, características como a velocidade e direção dos ventos predominantes na região, peculiaridades do terreno para que a aeronave possa voar de forma segura, além de autorização de voo fornecida pelo Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA).

A característica de um determinado voo depende da área que será monitorada e das condições atmosféricas. Ventos com intensidade superiores a 30% da velocidade de deslocamento da aeronave, normalmente provocam desvios de trajetória, prejudicando o alinhamento sequencial das imagens. Assim, na medida do possível é sempre desejável alinhar as faixas de voo com a direção predominante do vento. Para garantir o imageamento completo de uma determinada área de interesse, as fotografias são geradas com sobreposição longitudinal de 60% e sobreposição lateral de 30% (Figura 14), com esse procedimento é possível identificar pontos análogos em fotos consecutivas e gerar uma única imagem da área monitorada.

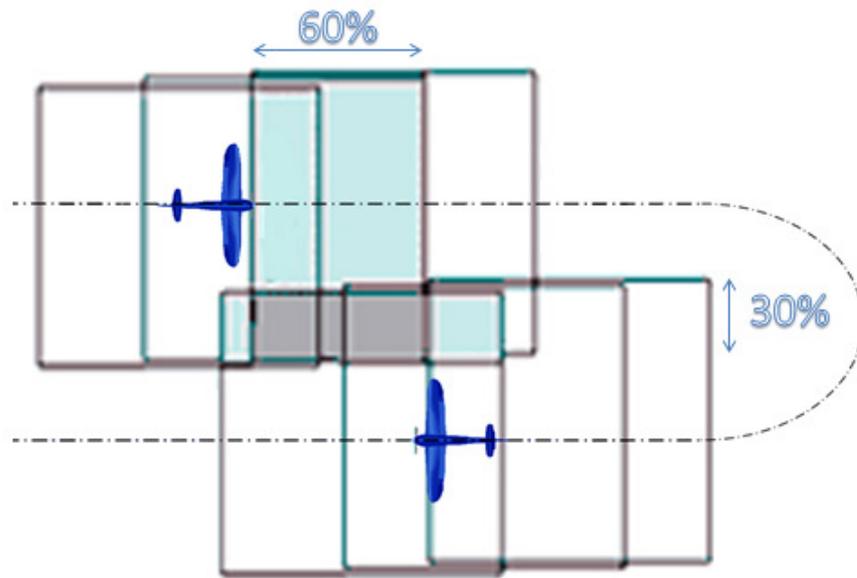


Figura 14: Exemplificação de plano de voo.

Para garantir a sobreposição entre imagens é necessário determinar a área de cobertura de uma imagem individual. A área de cobertura é função da altura de voo (H) e da distância focal (f) da máquina fotográfica embarcada na aeronave, como ilustrado na Figura 15.

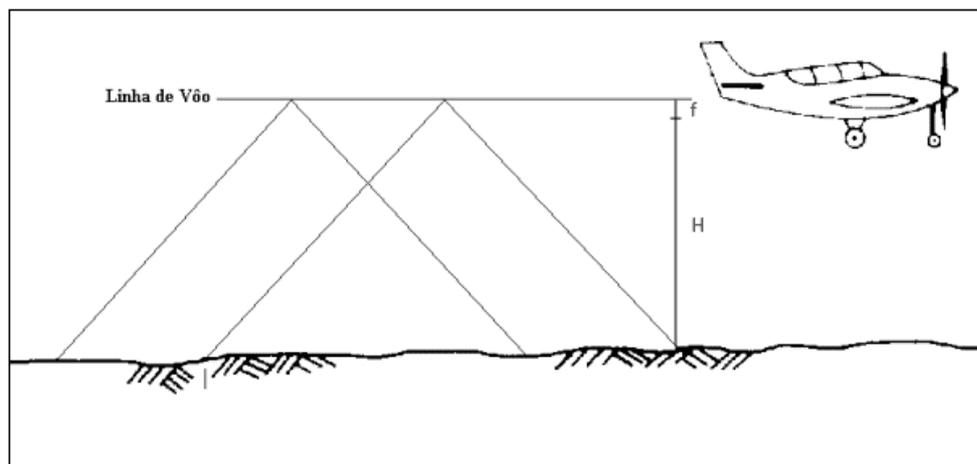


Figura 15: Área de recobrimento em função da altura H e da distância focal f .
(Fonte: Adaptado de Brandalize, 2004)

Estabeleceu-se neste trabalho que a altura de voo terá uma altitude pré-determinada, assim é possível calcular a escala da fotografia com a Equação 4.1.

$$H = \frac{f}{E} \quad (4.1)$$

Onde:

H = Altura de voo;

f = Distância focal da câmera;

E = Escala da fotografia aérea.

A escala também pode ser calculada relacionando as distâncias de dois pontos na fotografia com dois pontos reais no terreno, como visto na Equação 4.2.

$$E = \frac{ab}{AB} \quad (4.2)$$

Onde:

E = Escala da fotografia aérea;

ab = Distância entre dois pontos na foto;

AB = Distância entre dois pontos no terreno.

A distância real entre as aerofotos numa mesma faixa de voo pode ser determinada através da Equação 4.3, esta distância é chamada de base aérea estereoscópica.

$$B = 0,4 \times \frac{g}{E} \quad (4.3)$$

Onde:

B = Base aérea estereoscópica;

g = Lado da fotografia aérea em metros;

Para o cálculo da distância entre as faixas de voo utilizou-se da Equação 4.4.

$$I = 0,7 \times \frac{g}{E} \quad (4.4)$$

Onde:

I = O intervalo entre as faixas de voo.

O intervalo de tempo em segundos entre a captação de cada imagem depende da velocidade da aeronave em relação ao terreno, da escala da imagem, do tamanho do lado da imagem e do recobrimento desejado, na Equação 4.5 é apresentado a forma como este intervalo é calculado.

$$T = \frac{0,4 \times g}{V \times E} \quad (4.5)$$

Onde:

T = Intervalo de tempo entre cada captura da imagem;

V = Velocidade da Plataforma aérea.

Um plano de voo é constituído por uma série de informações que definem todas as atitudes da aeronave durante a execução de uma missão. Essas informações são constituídas basicamente pela definição da altura de voo; velocidade de deslocamento; coordenadas dos pontos que definem a trajetória da aeronave, porcentagem de acelerador para manter a velocidade de cruzeiro, coordenadas dos pontos para acionamento do disparo da máquina fotográfica e a forma de aproximação durante o retorno ao ponto de partida para efetuar o pouso.

A interface gráfica, denominada Horizon®, que acompanha o piloto automático utilizado no sistema SAMA, possui funcionalidades que permitem efetuar toda a configuração dos planos de voo. O processo de composição é relativamente simples, passa por localizar em uma base georreferenciada pretérita a área onde será realizado o voo, em seguida introduzir as coordenadas de suas extremidades superior esquerda e inferior direita, para efetuar a orientação da imagem que servira de base.

Após a configuração do plano de voo com o auxílio do Software Horizon®, os comandos são transferidos para o piloto automático por meio do rádio modem. O piloto automático efetua a compilação dos comandos do plano de voo, verificando se existe algum erro de sintaxe ou comandos inconsistentes. Dois dos comandos mais usuais do software Horizon® para a confecção do plano de voo são:

- a. *Fly to*: A aeronave voa para o ponto especificado mantendo a altitude atual, mas sem corrigir o efeito causado pelo vento (Figura 16(a)).
- b. *From to*: A aeronave voa para o próximo ponto ao longo da linha reta, tentando a todo o momento corrigir o efeito do vento na trajetória (Figura 16(b)).

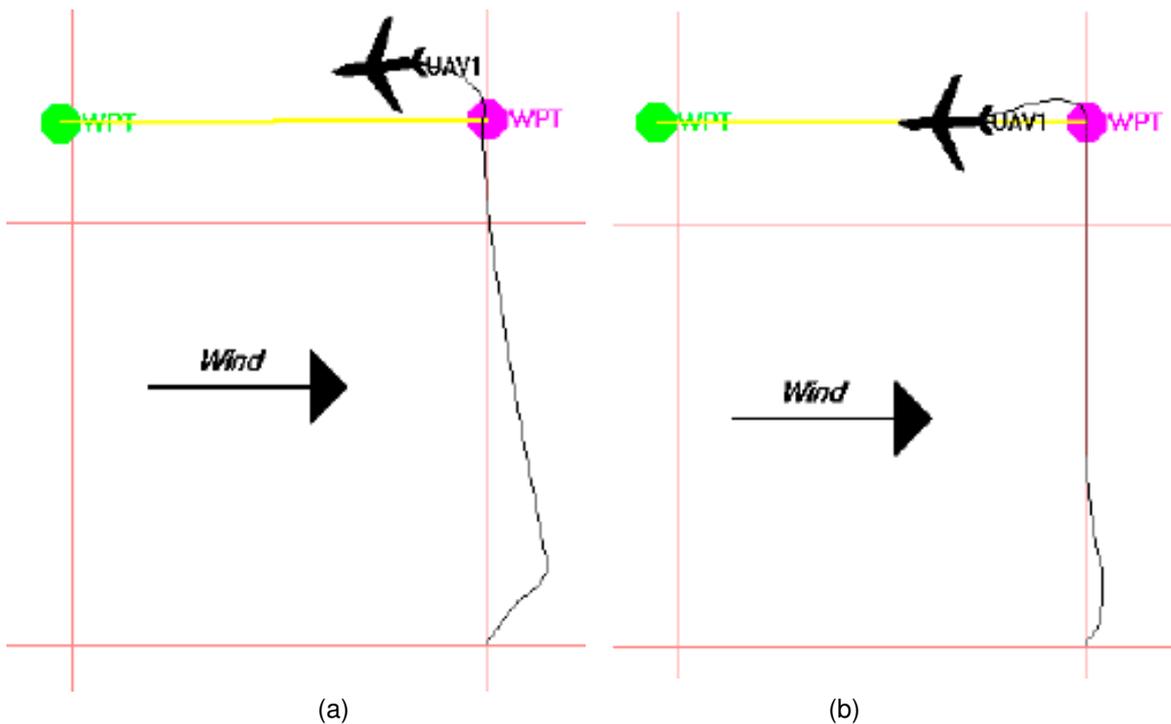


Figura 16: Exemplificação do comando *Flyto*(a) e *From to*(b).
(MICROPILOT, 2010)

4.5 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE IMAGENS

O sistema de aquisição das fotos aéreas consiste de uma câmera convencional digital de alta resolução, ou seja, não métrica. Os parâmetros da câmera utilizada no SAMA 01 são descritos Tabela 2.

Tabela 4: Características da Câmera Digital.

Resolução	13 Megapixels
Dimensão do CCD	7,6 x 5,7 mm
Número de Pixels	4224 x 3168
Tamanho do Pixel	0,0018 mm
Distância Focal	8,123 mm

A câmera foi adaptada para disparar sob o comando do piloto automático. A Figura 17 exhibe a câmera com as alterações realizadas, nela é possível observar os conectores implantados para possibilitar a comunicação com a placa do sistema, e o recipiente hermético, na qual foi acomodada no SAMA 01 para proteção contra água, afixado por meio de suportes elásticos para minimizar vibrações promovidas motor da aeronave.

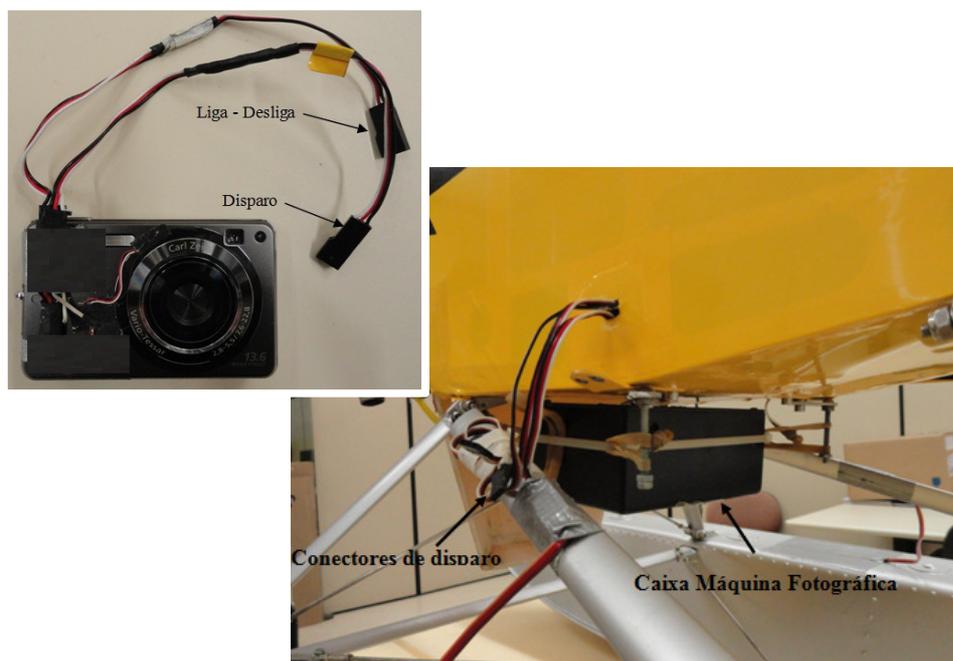


Figura 17: Câmera digital com conectores adaptados.

4.6 CONFECÇÃO DOS MOSAICOS

Mosaicos aéreos são junções de duas ou mais imagens aéreas adjacentes, representando assim, uma composição aproximada de linhas de voo, sobrepostas umas sobre as outras sem que haja perdas ou cortes nas imagens. Utilizam-se mosaicos porque uma única foto detém uma área limitada, impossibilitando assim uma avaliação mais abrangente e simultânea de suas características, estes podem ser preparados para mostrar o desenvolvimento de planejamento ou alterações contempladas em uma área específica.

Os mosaicos são particularmente úteis para delimitação e uso da cobertura do solo, ordenamento do território, zoneamento, mapas fiscais, inventário dos recursos naturais e projetos de engenharia preliminares como o de drenagem.

A classe de mosaico utilizada neste trabalho foi a não-controlada, que é descrita em Wolf (1988), como sendo preparado pela combinação de detalhes da imagem de fotografias adjacentes. Não há controle de terra, e de ortogonalidade das fotografias, as imagens não são ratificadas ou corrigidas. Os Mosaicos não-controlados são rapidamente preparados em relação aos mosaicos controlados que detém acompanhamento em solo e correção das imagens. Não apresentando portanto demasiada precisão como mosaicos controlados, mas para muitos usos qualitativos são completamente satisfatórios.

A junção de imagens consecutivas para a formação de mosaicos é feita por meio do método exemplificado em BROWN (2007), um resumo da subdivisão das etapas realizadas pelo autor é apresentado a seguir.

4.6.1 Detecção de Feições Correspondentes

Primeiramente é realizada a identificação de descritores locais, que são vetores de características de uma imagem que podem ser utilizados para se comparar regiões em imagens diferentes. Esta identificação é realizada por meio do método SIFT que consiste numa técnica de processamento de imagens que permite a detecção e

extração de descritores locais, aceitavelmente invariáveis a diferenças de iluminação, ruído, rotação, escala e mínimas de perspectiva.

O conjunto de parâmetros necessários para representar as transformações necessárias é dado pelo vetor de rotação $\theta = [\theta_1, \theta_2, \theta_3]$ e pela distância focal f , gerando assim pares correlacionados $\tilde{u}_i = H_{ij}\tilde{u}_j$ (Equação 4.6).

Onde:

$$\tilde{H}_{ij} = K_i R_i R_j^T K_j^{-1} \quad (4.6)$$

e \tilde{u}_i, \tilde{u}_j são as posições homogêneas da imagem ($\tilde{u}_i = S_i [u_i, 1]$), u_i é um vetor bidimensional da posição da imagem.

Os quatro parâmetros da câmera são definidos pela Equação 4.7:

$$K_i = \begin{bmatrix} f_i & 0 & 0 \\ 0 & f_i & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

Utilizando a representação exponencial para rotações (Equação 4.8):

$$R_i = e^{[\theta_i]^\times}, \quad [\theta_i]^\times = \begin{bmatrix} 0 & -\theta_{i3} & \theta_{i2} \\ \theta_{i3} & 0 & -\theta_{i1} \\ -\theta_{i2} & \theta_{i1} & 0 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

Para pequenas mudanças na posição da imagem (Equação 4.9)

$$\tilde{u}_i = A_{ij}\tilde{u}_j \quad (4.9)$$

Onde (Equação 4.10),

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

Obtendo-se assim uma transformação afim obtida pela linearização da correlação sobre u_{i0} .

Após a extração de vetores a partir de todas as imagens, eles devem ser combinados. As imagens múltiplas podem sobrepor-se um único raio, cada descritor local é combinado com seu vizinho mais próximo no espaço de características. Para este procedimento foi utilizado uma árvore de $k-d$ que recursivamente particiona o espaço de características na média da dimensão com maior variância.

4.6.2 Correspondência entre imagens

Para refinar esta transformação é utilizado o algoritmo RANSAC, que representa um procedimento de estimação que usa um conjunto mínimo de correspondências amostradas aleatoriamente para estimar a transformação de parâmetros da imagem. E por fim aplicado um modelo probabilístico para verificar tais correspondências.

4.6.3 Ajuste de feixe e renderização

Após as transformações geométricas entre as imagens, é realizado um ajuste de feixe para incluir todos os parâmetros da câmara na transformação, por meio de um modelo matemático. As imagens são adicionadas ao modelo ajustador de feixe um por um, com a melhor imagem correspondente, com a mesma rotação e distância focal. Em seguida, os parâmetros são atualizados pelo método de Levenberg-Marquardt. Cada característica é projetada em todas as imagens em que ela corresponde, e a soma do quadrado das distâncias das imagens é minimizada pelos parâmetros da câmara.

Por fim, é realizada a compensação de ganho e a suavização das bordas por meio de uma mistura multi-banda.

A Figura 18 apresenta de forma esquemática a identificação de descritores locais análogos refinados em duas imagens com sobreposição. A rotina identifica um conjunto de pontos análogos entre as imagens “a” e “b”, a figura “c” apresenta os

pontos análogos localizados durante a identificação de características entre as imagens, e por fim a imagem “d” apresenta as imagens sobrepostas a partir destes pontos identificados com correção de ganho e suavização de bordas por mistura multi-banda.



(a) Imagem 1



(b) Imagem 2



(c) Pontos análogos entre as imagens 1 e 2



(d) Mosaico das imagens 1 e 2

Figura 18: (a) e (b) imagens que serão sobrepostas, (c) pontos identificados de agrupamentos de pixels análogos nas duas imagens, (d) mosaico final.

4.6.4 Dificuldades Causadas Pelo Vento

Os principais efeitos provocados por essa força atmosférica se traduz em desvios e deriva, o que acarreta sobreposições irregulares entre as imagens e, dependendo da intensidade, pode ocorrer um desvio da trajetória além da área de interesse.

A Figura 19 ilustra o que ocorre com a aeronave sob a ação de vento cruzado à trajetória de deslocamento. Na primeira situação a proa da aeronave aponta na mesma direção da trajetória desejada, mas o vento atua de forma a criar deriva da plataforma provocando um efeito degrau na sobreposição das imagens. Na segunda situação a proa da aeronave tende a se alinhar na direção do vento, provocando uma rotação em seu próprio eixo, ocasionando o mesmo problema de recobrimento do caso anterior. Na terceira situação, a câmera foi ajustada de forma a corrigir a rotação observada na segunda situação.

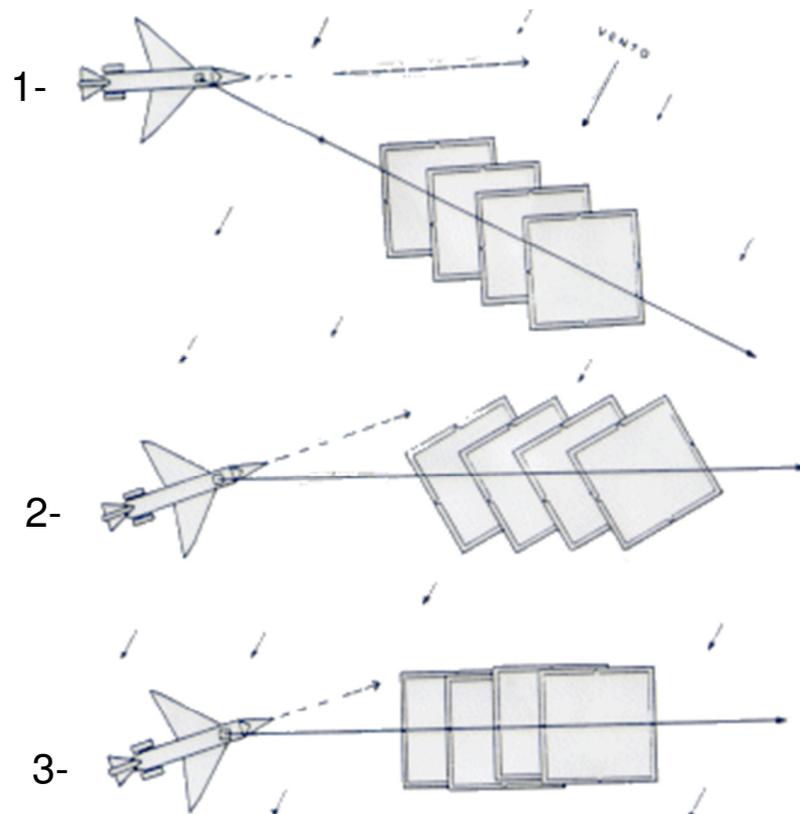


Figura 19: Efeitos da deriva e desvio.
(Fonte: IBGE)

4.7 GEORREFERENCIAMENTO DE IMAGENS

Orientar uma imagem num sistema de coordenadas X, Y ou comumente conhecido como georreferenciamento, significa realizar uma transformação geométrica que relaciona as coordenadas de uma imagem com uma projeção cartográfica plana. Neste trabalho a transformação geométrica utilizada foi a transformação polinomial de 1º grau afin, para estabelecer um mapeamento entre coordenadas de imagem e coordenadas geográficas.

Na aerofotogrametria convencional, a orientação exterior das imagens é feita com base na coleta de pontos de apoio em campo, com o auxílio de um GPS de alta precisão. Aeronaves convencionais operam em altitudes superiores a 2000m fazendo com que a área de cobertura de cada imagem seja relativamente grande, diminuindo a quantidade de pontos de apoio necessários para efetuar a orientação. Por outro lado, as imagens geradas por aeronaves de pequeno porte são obtidas a alturas inferiores a

1000m com o uso de máquinas convencionais, de pequeno formato, o que diminui consideravelmente a área de cobertura, onerando demasiadamente a orientação exterior com base em pontos de apoio coletados em campo. Nesse trabalho os pontos de apoio necessários para realizar a orientação exterior das imagens foram obtidos a partir da base do Google Earth®. Embora esse procedimento não seja adequado do ponto de vista da aerofotogrametria, essa metodologia se adequa aos objetivos propostos nesse trabalho.

O esquema da Figura 20 apresenta um resumo das etapas seguidas. O primeiro quadro representa a imagem que necessita ser georreferenciada, o segundo quadro representa a mesma área localizada na base de referência do Google Earth®. As marcas em cada um dos quadros representam feições que podem ser reconhecidas nas duas imagens. O terceiro quadro representa a primeira imagem orientada com base nas coordenadas extraídas da base de referência.

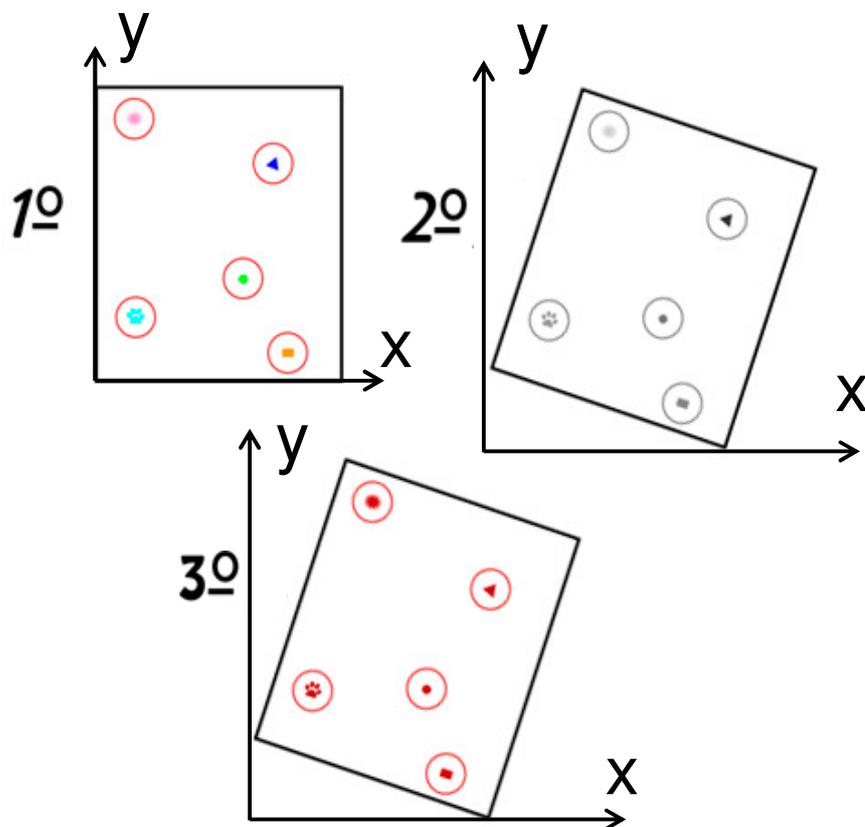


Figura 20: Esquema de orientação geográfica dos mosaicos.

4.8 RESUMO DOS MÉTODOS

Após todas as etapas de trabalho, chegou-se a um procedimento para a análise foto interpretativa do uso e ocupação solo:

- a. Identificação de sequência de imagens pertencentes à mesma faixa;
- b. Confecção de mosaicos para cada uma das faixas de voo;
- c. Processamento computacional para identificação de padrões entre faixas de imagens;
- d. Confecção de mosaicos a partir da união das faixas de voo;
- e. Orientação dos mosaicos em um sistema de coordenadas geográficas
- f. Análise qualitativa das diferenças de feições entre os mosaicos produzidos e imagens pretéritas.

4.9 EXTRAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS QUANTITATIVOS

Um dos objetivos desse trabalho foi avaliar o grau de acurácia que pode ser obtido na localização de feições, extração de medidas lineares e outras informações métricas das imagens georreferenciadas com a metodologia descrita anteriormente.

Vale salientar que para se obter produtos métricos de precisão seria necessário que a câmera fotográfica utilizada fosse calibrada, e ainda efetuar a orientação interior e exterior da imagem, o que não foi feito neste trabalho.

Além dos erros de imprecisão das coordenadas de pontos extraídos de bases de referência como o Google Earth®, outros fatores que prejudicam a qualidade das imagens e aumentam o erro de determinação de informações métricas são: (1) inclinação da aeronave no momento da tomada da imagem; (2) variação da altura da aeronave entre tomadas consecutivas e (3) deriva da aeronave provocada pelo vento.

A estimativa de uma determinada área pode ser feita através do conhecimento do tamanho de um pixel em solo e o número de pixels existente nessa área. Esse raciocínio é válido para regiões planas onde é possível considerar que os pixels possuem todos a mesma dimensão. Em áreas montanhosas e com declividades

importantes essa consideração deixa de ser válida, uma vez que nessas áreas a geometria de um determinado pixel é deformada pela morfologia do relevo terrestre.

A determinação da área abrangente na foto é função do tamanho CCD em mm, da resolução em pixels utilizada para captar a imagem, e da escala que se deseja.

Com base na Equação 4.1 determina-se a escala (E) e de posse da Equação 4.11 a área (A) de abrangência da imagem no solo pode ser estimada.

$$A = (L_A \times E) \times (L_B \times E) \quad (4.11)$$

Onde:

A = Área de abrangência da foto;

L_A = Lado longitudinal do CCD

L_B = Lado lateral do CCD

E = Escala da fotografia aérea

O tamanho do pixel no solo em câmeras digitais, representa o Ground Simple Distance (GSD) é obtido segundo a relação(Equação 4.12) :

$$GDS = \left(\frac{H}{f}\right) \times \left(\frac{L_A}{L_X}\right) \quad (4.12)$$

Onde:

GDS = Tamanho do pixel no solo;

L_X = Lado longitudinal da máxima resolução da imagem digital

De posse do tamanho do pixel no solo das imagens SAMA é possível obter uma área aproximada, desde que o objeto alvo não apresente relevo acidentado. Para se determinar uma área que seja plana na imagem, é preciso apenas traçar um polígono da região desejada e realizar a contagem dos pixels com o auxílio de um programa especializado. A precisão desta extração de informações foi comparada ao tamanho das áreas nas imagens obtidas com o VANT em relação ortofoto-carta cedida da Chesf.

5 EXPERIMENTOS REALIZADOS

Este trabalho analisa o resultado de três experimentos: o primeiro no interior da Bahia no reservatório Moxotó, do complexo hidroelétrico de Paulo Afonso; o segundo no reservatório da Usina Hidro Elétrica Governador Parigot de Sousa no município de Antonina no Paraná e o terceiro na BR-262 da região do Pantanal no Mato Grosso do Sul.

5.1 EXPERIMENTO 1

Este experimento foi utilizado para avaliar as condições ideais meteorológicas de voo, bem como, o acerto do peso e vibrações da aeronave para que não afetem o sistema de aquisição de imagens, além de analisar o nível de acurácia geográfica que é possível se obter com o SAMA, uma vez, que se obteve junto a Chesf uma ortofotocarta da área a ser estudada, viabilizando assim comparações com o produto do SAMA.

5.1.1 Área de estudo

A área escolhida para realização deste experimento de voo localiza-se em um dos braços, pertencente à margem esquerda do corpo principal do reservatório Moxotó, do complexo hidroelétrico de Paulo Afonso na Bahia.

O reservatório de Moxotó está localizado no Rio São Francisco, foi implantado no ano de 1977 para abastecer a Usina Apolônio Sales, integrante do Complexo Hidrelétrico de Paulo Afonso, situado entre os Estados da Bahia, Pernambuco e Alagoas, sua área é de aproximadamente 98km².

O Complexo Hidrelétrico de Paulo Afonso compreende um sistema lacunar formado pelos reservatórios Delmiro Gouveia e Moxotó que abastecem respectivamente as usinas de Paulo Afonso I, Paulo Afonso II, Paulo Afonso III, Paulo Afonso IV, Piloto e a Apolônio Sales.

A região de entorno do reservatório de Moxotó está ocupada de diversas formas, até mesmo dentro das APPs que não deveriam ter atividade nenhuma

antrópica a não ser de restauração, encontram-se atividades rurais, industriais, comunidades de pescadores, áreas desmatadas, aglomerados urbanos, áreas de lazer, entre outras.

A vegetação local é a Caatinga onde predominam os solos rasos e arenosos muito suscetíveis às erosões. O clima característico é o semiárido, com curto período chuvoso e longas estiagens. A economia local é baseada na produção agrícola.

Atualmente não existe um programa periódico de monitoramento da ocupação das margens do reservatório, apenas o monitoramento liminológico e de qualidade de água, o que justificaria a implantação do programa de monitoramento com o SAMA, pela sua capacidade de realizar monitoramentos periódicos, como no acompanhamento da população de macrófitas que atrapalha o funcionamento das turbinas por entupirem a passagem de água.

A área monitorada está representada pelo retângulo em vermelho no detalhe da Figura 21, tendo aproximadamente 8km^2 , sendo que o maior dos lados, com 4km de extensão, se encontra alinhado com a margem do braço de reservatório.

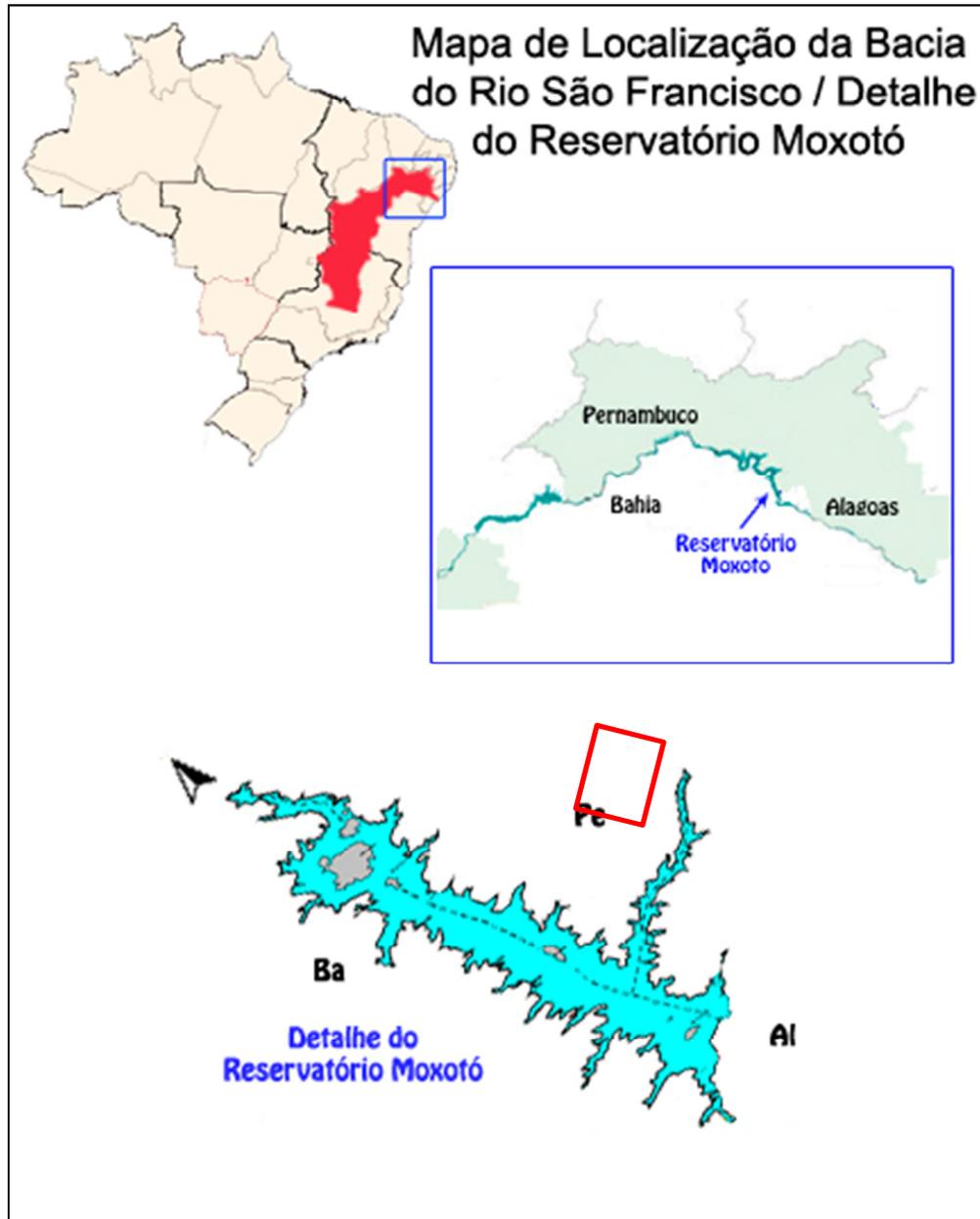


Figura 21: Localização da bacia hidrografia do rio São Francisco, localização do reservatório Moxotó e detalhe da área de estudo demarcada pelo retângulo vermelho.

A borda localizada na região de interesse caracteriza-se pela presença de mata ciliar segmentada, agricultura de subsistência e pela presença de pequenas propriedades de veraneio.

Essa região foi escolhida porque já se possuía uma ortofoto-carta com resolução de pixel de 40cm, viabilizando assim uma comparação com as imagens obtidas com o SAMA, a Figura 22 ilustra esta ortofoto-carta.



Figura 22: Imagem georeferenciada da área do experimento moxotó cedida pela Chesf.

Para este monitoramento foi realizada uma campanha no dia 09 de junho de 2010 no período da tarde com a base de comando alocada na margem esquerda do corpo principal do reservatório Moxotó.

5.1.2 Características do experimento

O voo foi realizado a uma altura constante de 450m e velocidade de deslocamento da aeronave de 75km/h, sendo que o tempo total de sobrevoo foi de aproximadamente 40 minutos, consumindo 1 litro de combustível da aeronave.

Com as configurações desta missão, foram obtidas imagens com uma área de cobertura de 421 x 315m como visto na Figura 23.



Figura 23: Imagem obtida a 450m de altura com máquina digital.

A Figura 24 mostra o local escolhido para montar a base de operação do VANT. Uma vez que a missão seria realizada a partir da margem do reservatório, e não de dentro de um barco, foi escolhido um local de fácil acesso e livre da presença das macrófitas, para facilitar a operação da aeronave na água.



Figura 24: Local escolhido para operação do VANT no reservatório Moxotó na Bahia.

Durante o experimento foram realizados três voos, sendo que o primeiro foi de curta duração, 10 minutos aproximadamente, utilizado para avaliar as condições do vento e também para regular a máquina fotográfica digital. Após a averiguação das condições de voo, as missões para obtenção das imagens aéreas foram iniciadas.

Como pode ser observado na Figura 25, foram traçadas seis faixas com extensão de 5Km cada, com espaçamento de 300m entre elas, e com 200m de distância entre cada foto, a missão foi subdividida para ser executada em duas etapas separadas, devido a pouca experiência da equipe técnica e o pouco tempo de voo anterior da aeronave, ficou-se receoso de que a aeronave não fosse capaz de executar o plano de voo de uma só vez.



Figura 25: Plano de voo realizado pelo VANT no reservatório Moxotó.

A primeira missão compreendeu as seções localizadas na margem direita do braço do reservatório (Figura 26). Essa missão abrangeu um pouco mais da metade da área alvo totalizando três faixas e meia. O tempo necessário para cumprir esse plano de voo foi de 25 minutos, sendo que a aeronave percorreu um total aproximado de 20km.



Figura 26: Seções realizadas na primeira missão.

Na segunda missão foram complementadas as seções necessárias para o recobrimento total da área de interesse. Nessa missão o VANT percorreu aproximadamente 14Km durante 19 minutos de permanência no ar, como representado na Figura 27.



Figura 27: Seções realizadas na segunda missão.

5.2 EXPERIMENTO 2

Este experimento foi utilizado para analisar a possibilidade da identificação de feições ambientais nas imagens obtidas com o SAMA.

5.2.1 Área de estudo

Este experimento foi realizado nos dias 09 e 10 de dezembro de 2010, no reservatório da UHE Governador Pedro Viriato Parigot de Souza em três áreas específicas, este reservatório localizasse nas margens da Rodovia BR-116, no município Paranaense Campina Grande do Sul incluso na região metropolitana distanciando 50km da capital Curitiba.

A área 01 localiza-se sobre a região da barragem, possui aproximadamente 3km de extensão e 1,6km de largura, resultando uma área de 4,8km², esta área foi escolhida para avaliar a evolução de um projeto de reflorestamento nas bordas do reservatório.

A área 02 está distribuída na região central do reservatório, possuindo extensão de 2,6km e largura de 0,97km, o que resulta em uma área de 2,522km². Esta área foi escolhida porque apresenta ocupação irregular nas margens do reservatório, e queria-se com o monitoramento, avaliar se houve aumento de tal ocupação.

Por fim a área 03 que se localiza na extremidade sul do reservatório, possuindo extensão aproximada de 789m, selecionou-se esta área por apresentar um vilarejo nas proximidades do reservatório, que poderia com seu crescimento gerar algum tipo de poluição e carregá-la para dentro do lago.

As Figuras 28 mostram o mapa com a localização da bacia hidrográfica do rio Capivari e do reservatório, e as três áreas onde foram realizados os sobrevoos estão demarcadas por quadriláteros vermelhos.

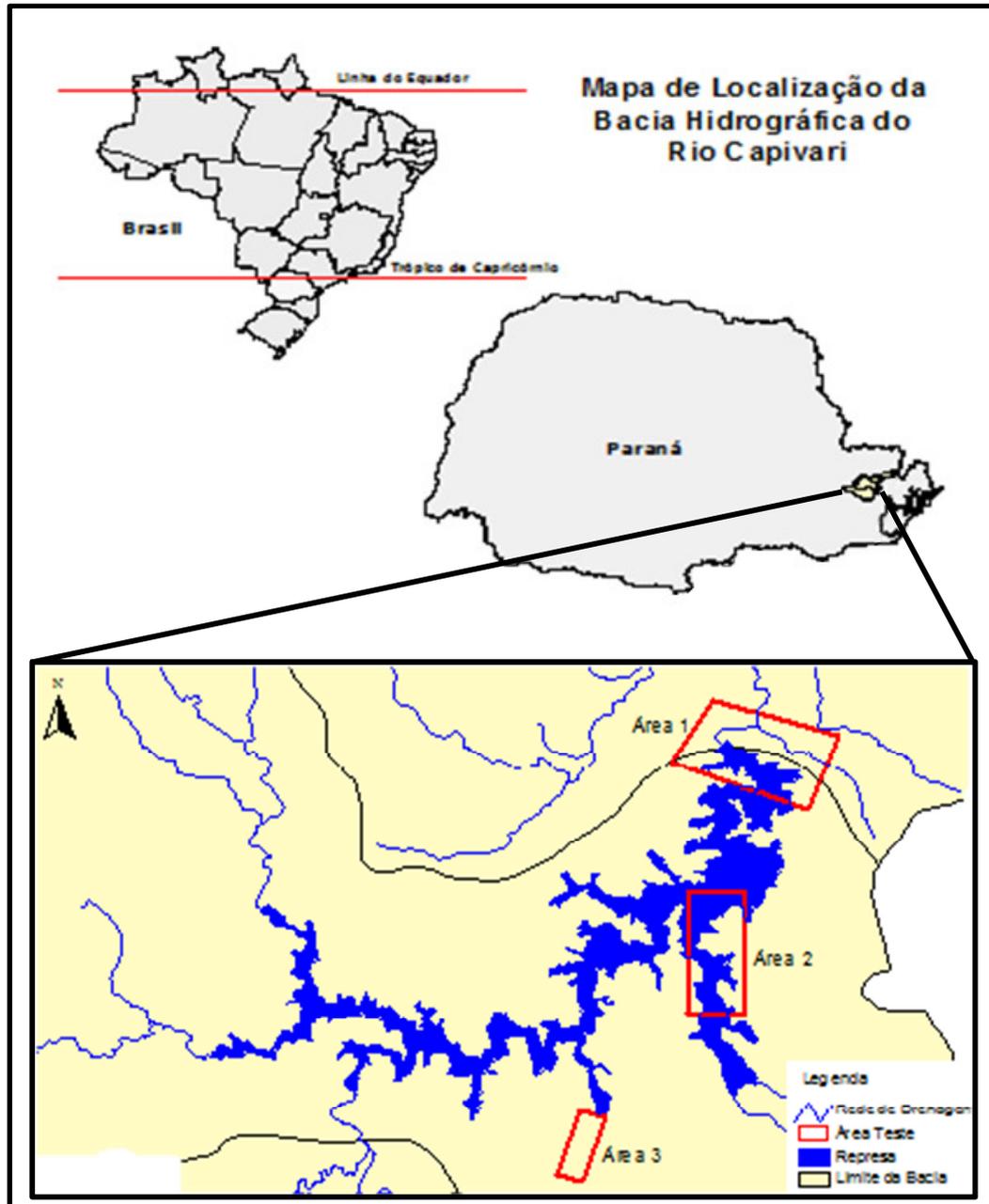


Figura 28: Mapa da localização das áreas dos sobrevoos.

5.2.2 Área 01

O primeiro voo foi realizado a 700m de altura para evitar uma possível colisão com a Serra do Mar. A essa altitude a cobertura em solo de cada imagem foi de 655 x 491m (Figura 29), sendo o valor de cada pixel no solo de 15,5 cm. Com isso, o plano de

voo foi elaborado na tentativa de se obter imagens com sobreposição longitudinal de 60% e sobreposição lateral de 30%.



Figura 29: Exemplo de imagem gerada da área 01 a 700m de altura.

Os pontos na Figura 30 ilustram a trajetória programada para o primeiro voo da área. A região de interesse foi dividida em cinco faixas com espaçamento de 300m entre elas e 200m entre os pontos de controle. Embora o SAMA possua a capacidade de disparar a máquina por coordenada geográfica, ou seja, à medida que a aeronave alcance cada um dos pontos de controle, nesse experimento optou-se por realizar os disparos a intervalos de tempo pré-definidos, que nesse caso foi de 8s. Considerando que a aeronave foi programada para se deslocar a 70km/h, o espaçamento entre o ponto central de cada imagem foi de 155m, o que gera uma superposição longitudinal em torno de 60%.

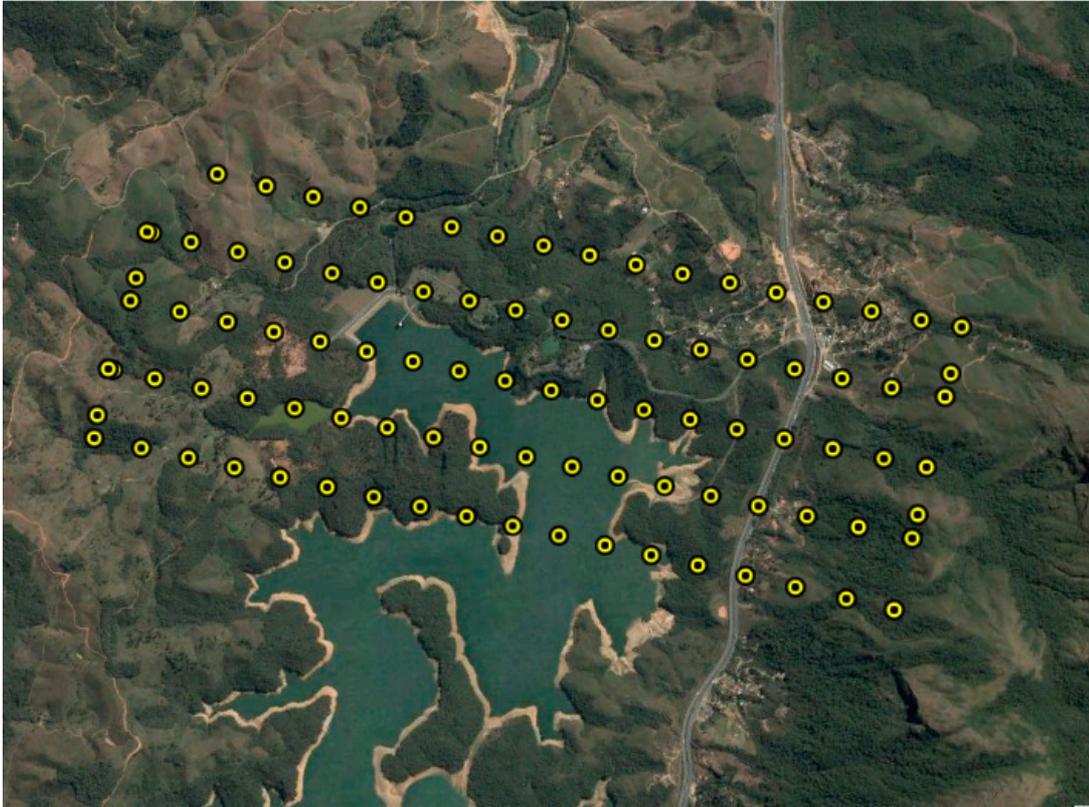


Figura 30: Localização dos pontos de controle que delimitam a trajetória da aeronave na área 01.

5.2.3 Área 02

O segundo voo foi realizado na manhã do dia 10 de dezembro de 2010 e a área de interesse está localizada na região central do reservatório, a altura da aeronave foi entorno de 500 m, gerando um tamanho de pixel no solo de 11,07 cm e 467 x 351m de dimensão a cada imagem, com ilustrado na Figura 31.



Figura 31: Exemplo de imagem gerada da área 02 a 500m de altura.

Este voo foi realizado a uma velocidade média de 70km/h, ao longo de 5 faixas com 3km de extensão, com separação de 250m entre elas. A Figura 32 apresenta os pontos de controle para a realização desse voo. De maneira análoga a primeira área, a máquina fotográfica foi disparada a intervalos de tempo constantes de 8 segundos, com o objetivo de se obter uma sobreposição longitudinal da ordem de 60 %.

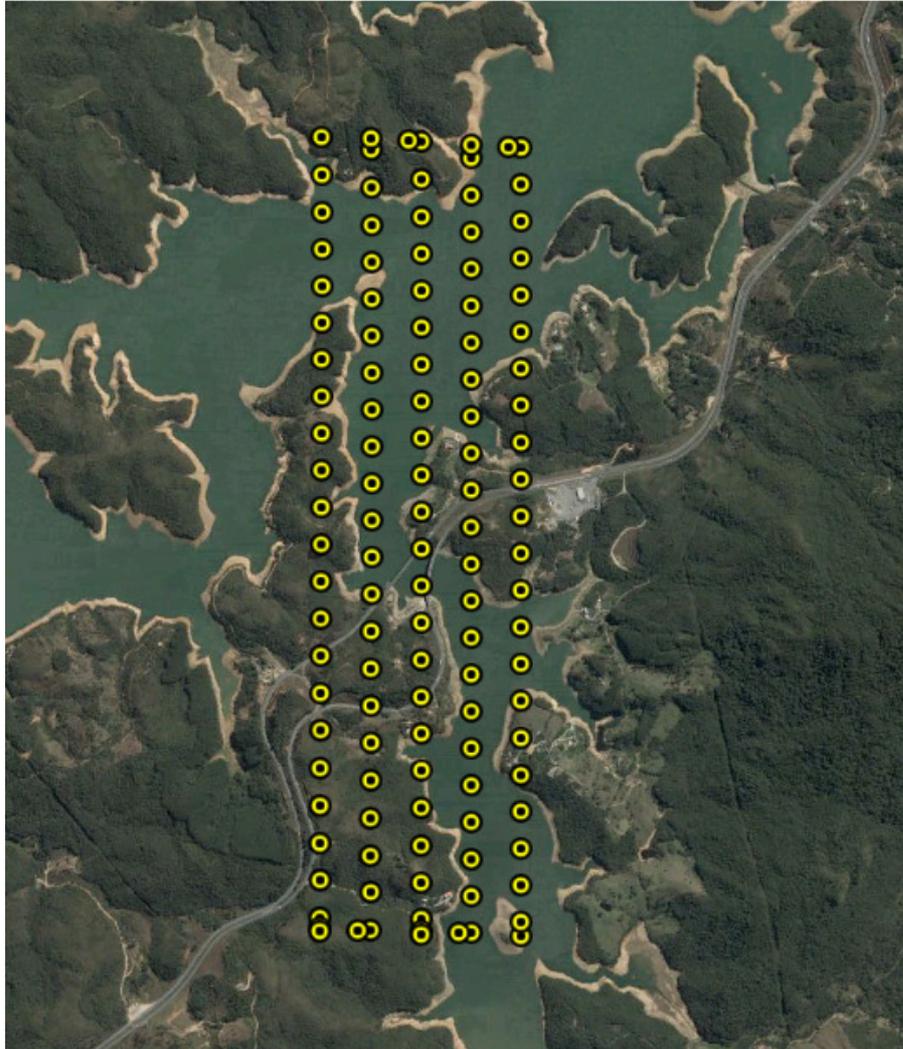


Figura 32: Localização dos pontos de controle que delimitam a trajetória da aeronave na área 02.

5.2.4 Área 03

O terceiro voo foi realizado na tarde do dia 10 de dezembro de 2010, no limite sul do reservatório, em grande parte no do lado direito da BR 116.

A altura de voo foi 500m, mesma utilizada na segunda área, gerando imagens com 467m x 351m de cobertura no solo e pixels de 11,07cm. A Figura 33 apresenta um exemplo de imagem gerada na área 02.



Figura 33: Exemplo de imagem gerada da área 03 a 500m de altura.

A missão foi executada a uma velocidade média da aeronave foi de 70km/h, ao longo de 4 faixas com 2.5km de extensão, com separação de 200m entre elas. A Figura 34 apresenta os pontos de controle onde as imagens foram tomadas com disparos da câmera a intervalos de tempo constantes de 8 segundos.

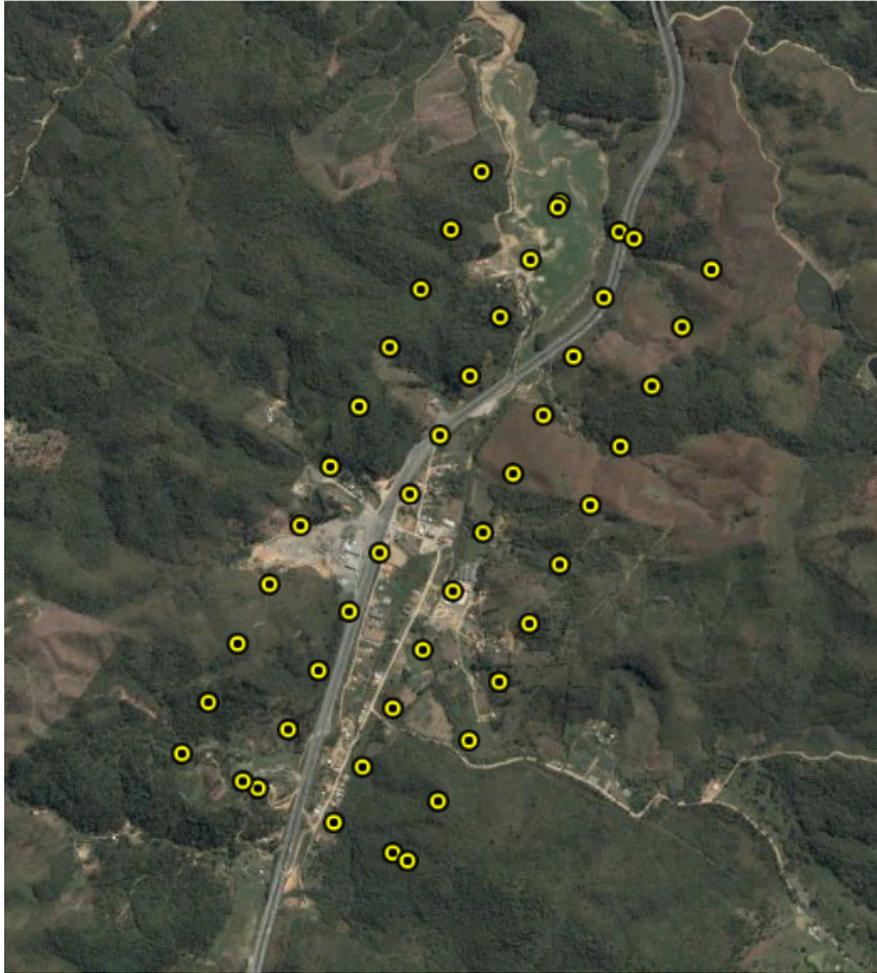


Figura 34: Localização dos pontos de controle que delimitam a trajetória da aeronave na área 03.

Em resumo é apresentado no Quadro XX as principais características das missões nas três áreas.

Tabela 5: Características das missões nas três áreas.

CARACTERÍSTICA	ÁREAS		
	1	2	3
Altura de Voo	700m	500m	500m
Velocidade de Cruzeiro	70km/h	70km/h	70km/h
Tamanho do Pixel	15,5cm	11,07cm	11,07cm

5.3 EXPERIMENTO 3

Como no experimento dois, este também foi utilizado para analisar o nível da identificação de feições ambientais nas imagens obtidas com o SAMA.

5.3.1 Área de estudo

A área de realização deste experimento localiza-se entre os municípios Anastácio e Corumbá no Mato Grosso do Sul no trecho que passa por obras de recuperação, entre a ponte rodoviária sobre o Rio Paraguai e os 82,8km que seguem em direção ao município Campo Grande-MS. A Figura 35 mostra o mapa com a localização da BR-262 no trecho entre as cidades de Anastácio e Corumbá.

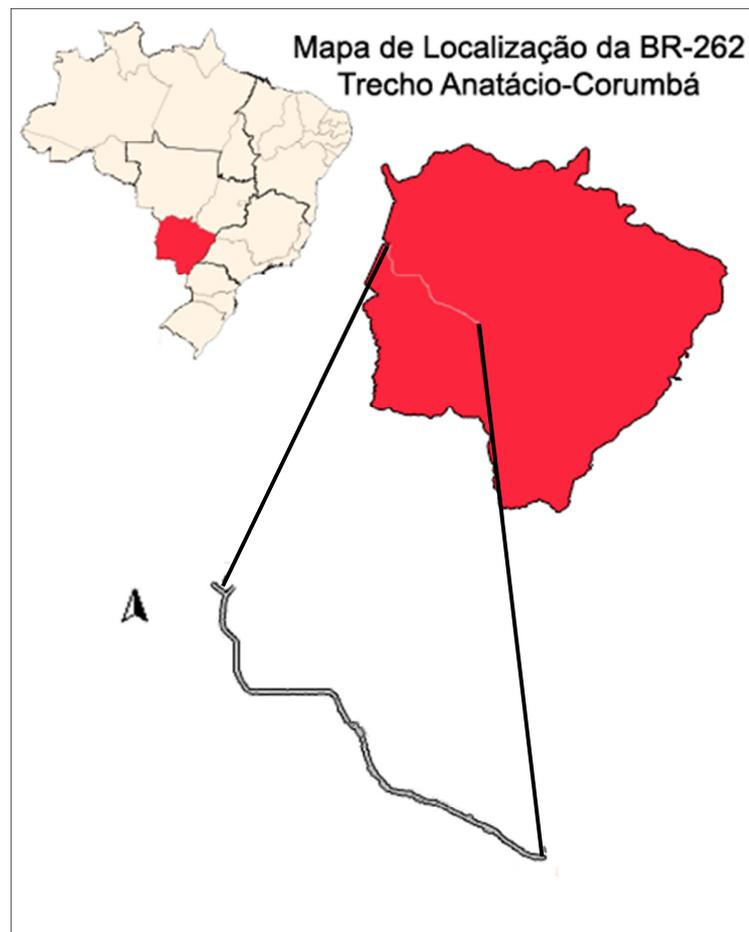


Figura 35: Mapa de Localização da BR-262 entre as cidades de Anastácio e Corumbá.

5.3.2 Características do experimento

Uma vez que a área de interesse desse experimento foi uma rodovia, com longos trechos retilíneos, o voo da plataforma aérea pôde ser acompanhado por terra durante todo o tempo de execução da missão. Isso possibilitou efetuar o imageamento em um intervalo de tempo menor do que o usualmente necessário uma vez que a aeronave era lançada de um determinado ponto e recuperada na extremidade oposta, sem a necessidade de retornar ao ponto de partida. Outra vantagem de acompanhar a aeronave é a possibilidade de manter o contato visual, o que permite assumir o controle manual caso seja necessário.

Para facilitar o seu acompanhamento por terra, a aeronave foi programada para voar a 60km/h e altura de 400m. A essa altitude a cobertura em solo de cada imagem foi de 374 x 280m (Figura 36), sendo o valor de cada pixel no solo de aproximadamente 9 cm.



Figura 36: Exemplo de imagem gerada durante o experimento a 400m de altura.

O experimento foi realizado ao longo da BR-262 acompanhando o trajeto da estrada. O percurso foi dividido em quatro trechos, para que a aeronave executasse um a cada voo. A Figura 37 apresenta os pontos de controle para a realização de cada trecho, estando representados por polígonos diferentes na figura, o primeiro trecho com pontos de controle quadrados, o segundo triângulos, o terceiro círculos e o quarto e último trecho com pontos em forma de pentágonos.

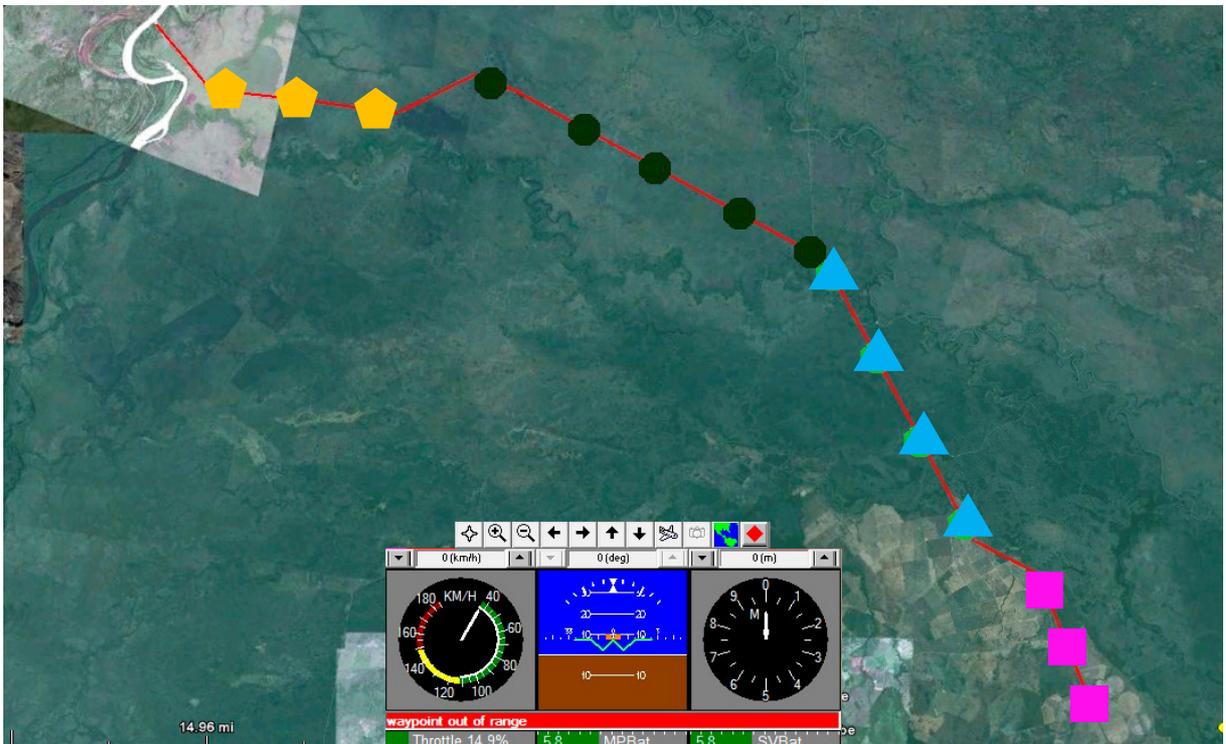


Figura 37: Localização dos pontos de controle que delimitam a trajetória da aeronave na segunda área.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma vez que se dispunha de uma ortofoto-carta, gerada por levantamento aerofotogramétrico, na área do Experimento 1, reservatório de Moxotó, esse experimento foi utilizado para verificar a validade da metodologia aplicada no georreferenciamento das imagens obtidas pelo sistema SAMA. Assim, os pontos de controle, necessários para efetuar a orientação das imagens, foram obtidos da base do Google Earth®. Após efetuada a orientação, um conjunto de pontos de verificação foi determinado para estimar o erro de posicionamento.

Os demais experimentos, 2 e 3, foram utilizados na identificação de informações ambientais de áreas de preservação permanente.

6.1 EXPERIMENTO 1

O principal objetivo desse experimento foi verificar a possibilidade de obter informações métricas das imagens geradas pelo SAMA. Para isso as fotografias aéreas foram orientadas com base em coordenadas geográficas obtidas do Google Earth®. Os resultados obtidos foram comparados com uma ortofoto préterita da área gerada por levantamento aerofotogramétrico convencional.

Antes de apresentar as comparações dos resultados obtidos com a orientação das imagens com base em pontos de apoio extraídos da base do Google Earth®, alguns fatores que podem influenciar na qualidade das imagens geradas pelo SAMA serão discutidos.

Durante a execução desse experimento, os voos foram realizados sob a ação de ventos relativamente intensos, o que provocou deriva da aeronave e consequente deslocamento lateral das imagens. A Figura 38 apresenta o efeito provocado pela ação do vento cruzado no momento da tomada das imagens. Uma vez que o sistema SAMA não possui mecanismo que corrija a rotação da aeronave, é possível observar o problema de recobrimento durante a montagem do mosaico.



Figura 38: Deslocamento diagonal provocado pela ação do vento.

Como a área de sobreposição das imagens foi superestimada tanto verticalmente como horizontalmente, para se assemelhar a fotogrametria convencional, e possibilitar uma possível estereoscópica futura. Uma perda de sobreposição de 20% de recobrimento longitudinal de 10% no recobrimento vertical não influencia a ponto de impossibilitar a confecção dos mosaicos.

A variação de velocidade do vento na hora da tomada da imagem também pode ser um agravante para a qualidade do produto final. A Figura 39 mostra o comportamento da velocidade da aeronave durante a execução da missão, a linha contínua da imagem indica a velocidade programada, e os pontos indicam a velocidade real da aeronave em cada instante de tempo.

A aeronave apresentou várias oscilações de velocidade, mantendo sua velocidade constante em alguns instantes, e ultrapassando poucas vezes os 70Km/h em no máximo 5km/h. Este aumento de velocidade não chega a influenciar na sobreposição das imagens, pois, como a programação de voo é para uma sobreposição superestimada de 60% tal aceleração abaixaria para 56% de recobrimento, que ainda representa uma boa parte da imagem para a extração de perfis análogos para confecção de mosaicos.

Na maior parte do tempo de voo houve redução na velocidade, esta diminuição da velocidade não chega a impedir a confecção dos mosaicos, o que pode ocorrer é um excesso de geração de imagens, dificultando a seleção das imagens que irão compor um determinado mosaico.

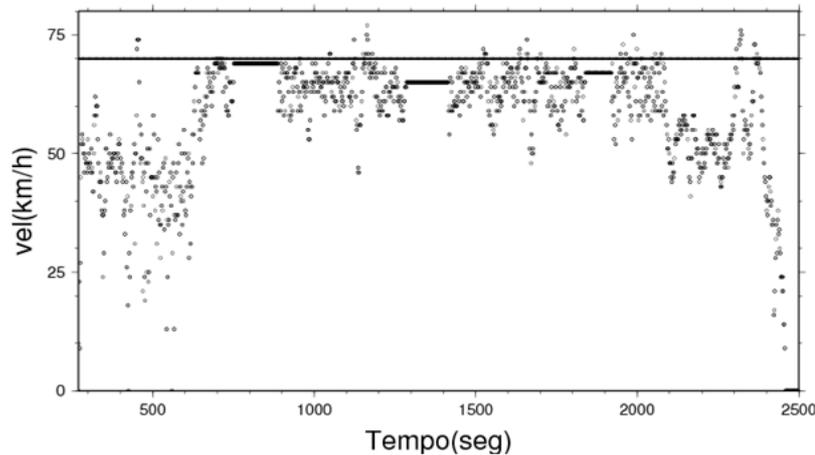


Figura 39: Variação da velocidade em função do tempo de voo.

Outro fator importante na qualidade do produto, mais precisamente na escala, é a variação da altura da aeronave durante a execução do voo. Para verificar essas variações, a altura da aeronave em função do tempo de execução do voo foi calculada e os resultados apresentados na Figura 40, onde a linha sólida representa a altura de voo desejada e a linha pontilhada representa a altura executada. Observa-se que as maiores variações foram da ordem de 20m e provavelmente ocorreram durante a realização de curvas no momento de mudança de faixa. Quando a aeronave se encontra alinhada com a faixa de voo programada as variações foram da ordem de 5m em relação à altura de voo desejada, tal variação representa 1% no valor final da escala, sendo que este não influencia significativamente na produção dos mosaicos, podendo ser assim desconsiderado.

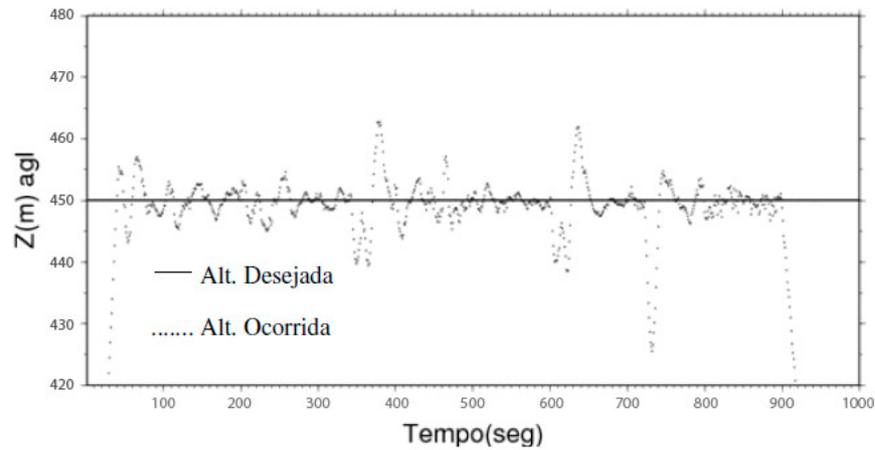


Figura 40: Altura de voo da plataforma aérea em função do tempo

O piloto automático mantém uma margem de variação, tanto de altura quanto de velocidade. Após certa variação pré-programada de altura, o piloto automático atua para corrigi-la, fazendo com que a aeronave não se desvie da altura programada.

6.1.2 Orientação no Sistema de Coordenadas Geográficas

Os pontos de apoio extraídos da Google Earth®, utilizados na orientação exterior de um exemplo de mosaico gerado com imagens do sistema SAMA são listados no Quadro 3. Nesse processo foram utilizados um total de 19 pontos que representam locais onde foi possível a identificação de feições análogas nas duas imagens.

Tabela 6: Pontos utilizados para o georreferenciamento da imagem

PONTO	COORDENADA UTM (GOOGLE)	
	X Imagem	Y Imagem
1	587233.00	8971791.00
2	587223.00	8971776.00
3	587291.00	8971743.00
4	587890.94	8972019.80
5	587922.61	8972046.09
6	587932.21	8971895.43
7	587972.47	8971962.59
8	587979.94	8971879.50
9	588261.22	8972127.63

10	588206.06	8972063.43
11	588187.10	8972091.56
12	588230.68	8972027.12
13	588305.23	8972030.59
14	588176.56	8971935.67
15	588509.87	8972121.75
16	588598.57	8972184.75
17	587375.05	8971878.28
18	587543.53	8971844.02
19	587545.91	8971809.79

A Figura 41 (a) apresenta um mosaico composto pela junção de 39 fotografias e a exemplificação dos pontos de apoio descritos no Quadro 3. Estes mesmos pontos são apresentados na imagem georreferenciada extraída do Google Earth® (Figura 44 (b)) e serviram de base para a transposição das coordenadas geográficas.



(a)



(b)

Figura 41: (a) Mosaico produzido com o SAMA. (b) Imagem georreferenciada extraída do Google Earth®.

A Figura 42 apresenta o mosaico da imagem anterior georreferenciado e sobreposto na ortofoto-carta da Chesf para ilustrar a precisão do posicionamento do SAMA.



Figura 42: Sobreposição de um mosaico produzido com o SAMA no detalhe da imagem da ortofoto-carta cedida pela Chesf

A sobreposição entre as imagens mostra que a metodologia utilizada permite efetuar a atualização de bases pretéritas, possibilitando assim acompanhar mudanças no uso e ocupação do solo nas áreas de interesse. Observe que embora tenham ocorrido algumas distorções entre a base e as imagens geradas pelo sistema, é possível efetuar comparações visuais entre os dois diferentes instantes, o que corrobora para a aplicabilidade do método.

6.1.3 Teste de Acurácia do Georreferenciamento

Para testar a metodologia de georreferenciamento utilizada, ou seja, coleta dos pontos de apoio obtidos com base em imagens do Google Earth®. Foi realizada a

comparação de coordenadas geográficas obtidas da ortofoto-carta e da imagem orientada gerada pelo SAMA.

Para efetuar a comparação, o erro médio quadrático (EQM) entre dez pontos de controle, ou seja, pontos que não foram utilizados no processo de georreferenciamento, foi estimado com base na Equação 6.1.

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}{n}} \quad (6.1)$$

Onde:

Δx^2 = Diferença das Coordenadas em x;

Δy^2 = Diferença das Coordenadas em y;

n = O número de pontos;

m = Erro médio quadrático.

O Quadro 4 apresenta as coordenadas de 10 pontos (pontos de verificação) utilizados para estimativa do EQM entre o posicionamento na ortofoto-carta e na imagem gerada pelo SAMA. Como pode ser observado o EMQ foi de aproximadamente 7,6m. Valores relativamente altos para os comumente aceitos na fotogrametria convencional, porém, tais erros já eram esperados uma vez que não foi realizada a orientação interior das imagens bem como não foram captados pontos de apoio em campo, para a realização da orientação exterior.

Tabela 7: Pontos das coordenadas relacionadas. com o valor do Erro médio obtido.

REFERÊNCIA		VANT				
x	y	x	y	Δx	Δy	$\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$
587858.243	8971977.025	587853.586	8971983.480	4.657	6.455	7.959565
587919.917	8972032.543	587914.599	8972038.734	5.318	6.191	8.161471
587941.005	8971973.210	587935.210	8971979.878	5.795	6.668	8.834266
587925.447	8971935.397	587919.097	8971941.350	6.35	5.953	8.704063
588008.038	8971911.216	588003.276	8971914.920	4.762	3.704	6.032931
588257.583	8972085.342	588250.880	8972086.912	6.703	1.57	6.884411

588278.961	8972097.302	588272.294	8972098.466	6.667	1.164	6.767849
588217.049	8972121.220	588210.381	8972123.443	6.668	2.223	7.028795
588267.232	8972193.681	588261.093	8972195.215	6.139	1.534	6.327754
587983.787	8972010.672	587977.014	8972016.811	6.773	6.139	9.141162
				$m\Delta x=5.98$	$m\Delta y=4.16$	Média=7.584

Uma estimativa visual do erro de posicionamento é apresentado na Figura 43. As formas triangulares representam as coordenadas da base de referência, e as formas circulares representam as coordenadas dos mesmos pontos obtidos da imagem georreferenciada com base no Google Earth®.

Observa-se que as coordenadas do Google Earth apresentaram um afastamento sistemático, possibilitando assim, se necessário, a correção deste deslocamento pelo reposicionamento da imagem conforme uma base mais precisa.

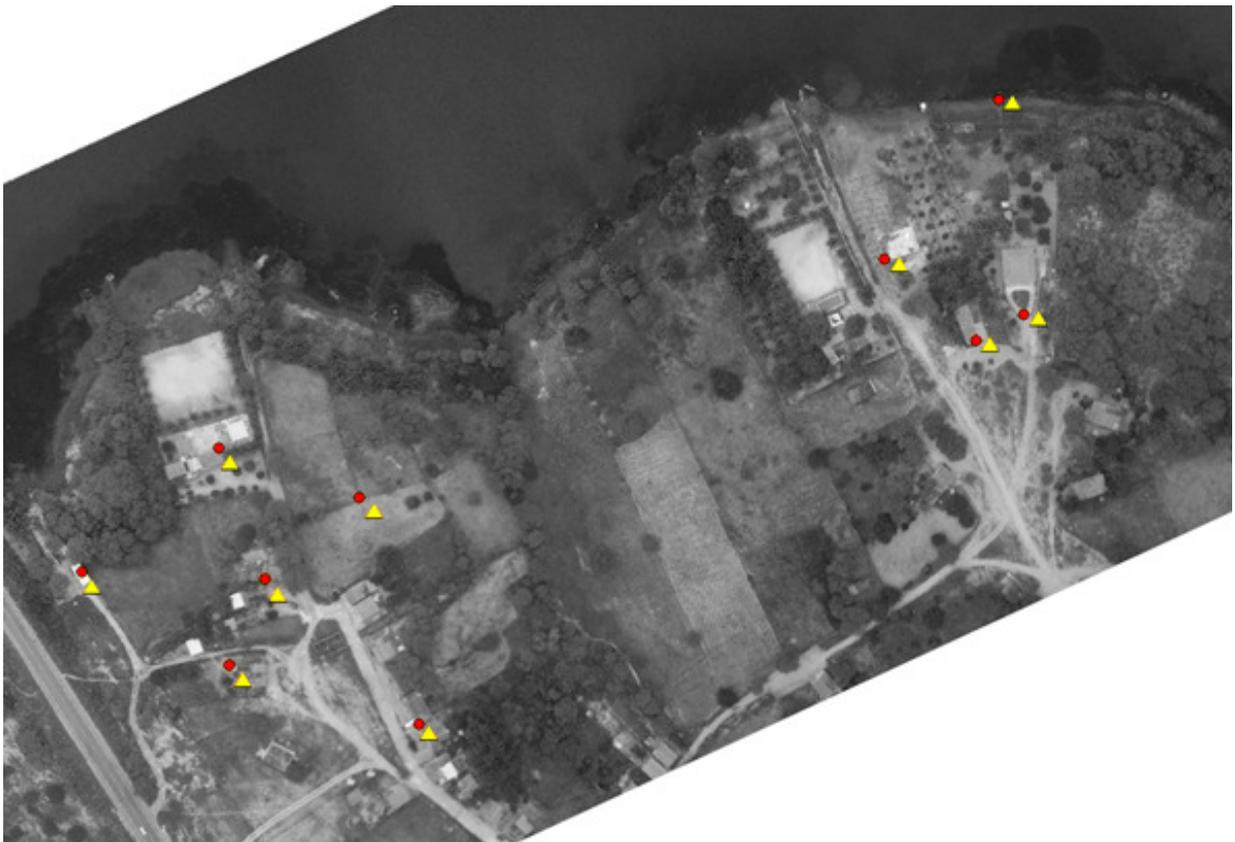


Figura 43: Imagem gerada pelo SAMA, apresentando pontos de controle do Google Earth® e da ortofoto-carta da Chesf.

Como é possível observar na imagem o erro de posicionamento segue um padrão. Ou seja, os pontos apresentam um deslocamento médio de 7,5 m em direção noroeste. Este deslocamento não é suficiente para interferir na identificação de mudanças de uso e ocupação do solo na imagem, atestando assim, a eficácia de se utilizar o Google Earth® como a base cartográfica do SAMA.

Uma vez que não foram efetuadas correções para eliminar distorções provocadas pela concavidade da lente, foi realizada a comparação do erro de posicionamento entre dois pontos em uma imagem isolada, um ponto localizado na região central e outro localizado na periferia. A Figura 44 apresenta o resultado dessa comparação. A diferença no posicionamento entre os pontos foi de aproximadamente de 1m, com o ponto central apresentando erro de 7 m e o ponto na periferia 8 m. Este resultado condiz com o esperado, maior erro em pontos localizados na borda da imagem.

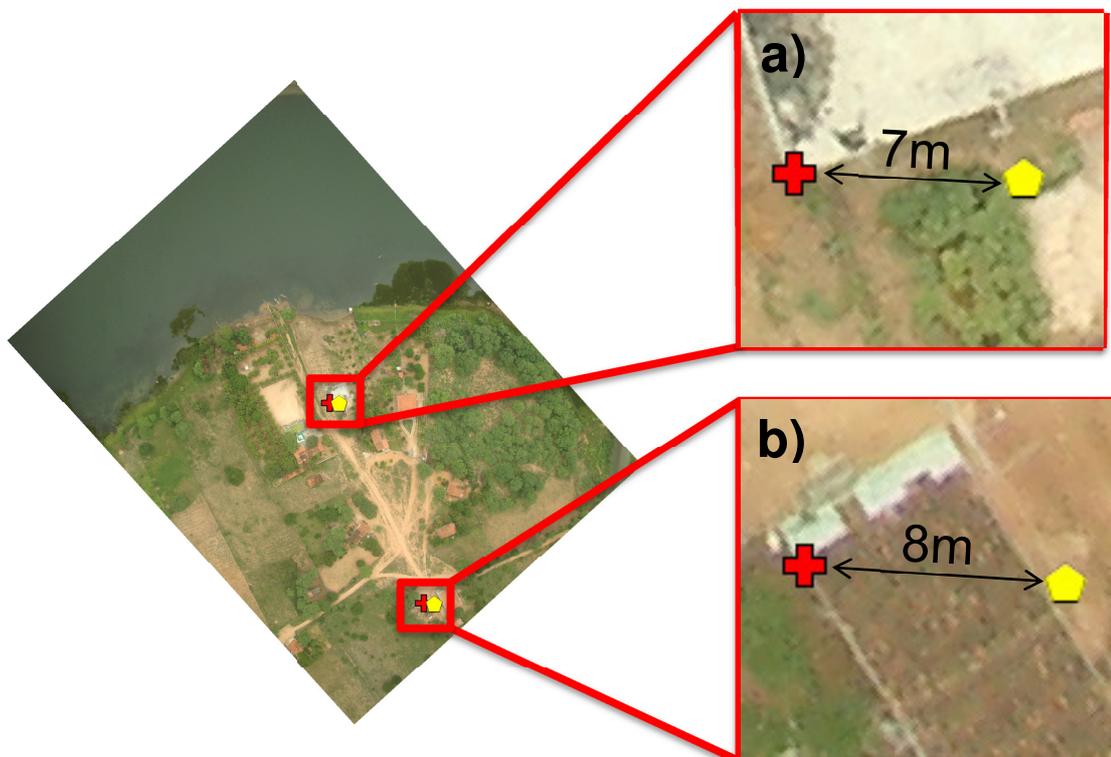


Figura 44: a) Comparação entre pontos localizados no centro (a) e na periferia (b) da imagem.

A metodologia aplicada no processo de orientação exterior das imagens apresentou resultados adequados para os propósitos desejados, com erros de posicionamento médio da ordem de 7,6m.

6.1.4 Extração de Dados Quantitativos

Para verificar a possibilidade de extrair dimensões de feições ambientais de interesse, o tamanho de alguns objetos conhecidos foi estimado com base nas imagens georreferenciadas.

O comprimento de um caminhão que aparece em uma das imagens (Figura 45), foi determinado e apresentou um valor de 23m. Com base na Resolução Contran 368/2010, caminhões deste tipo devem possuir comprimento da ordem de 22.4m. Devido a estas informações observa-se que a diferença entre o comprimento estimado baseado na imagem, e o comprimento real do objeto é de 2,7%.

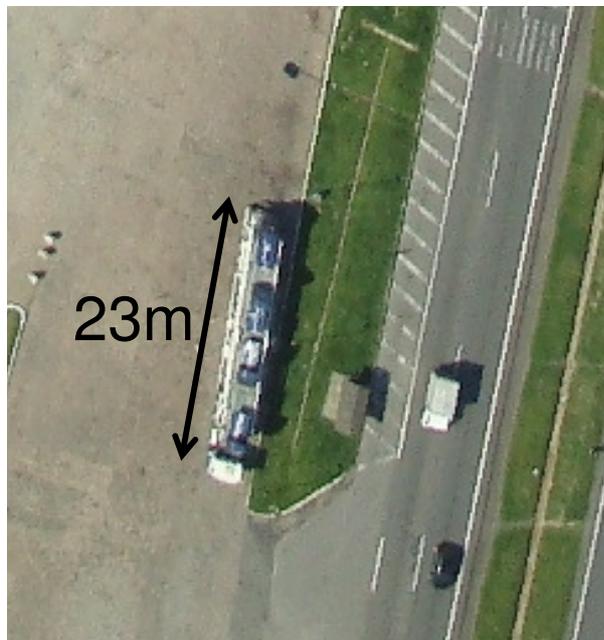


Figura 45: Ilustração do tamanho de um caminhão cegonha medido na imagem.

As Figuras 46 e 47 apresentam mais exemplos de extração de dimensões lineares de feições registradas pelas imagens geradas pelo SAMA. Na Figura 46 as medidas das feições, obtidas em campo com a utilização de uma trena, são

apresentadas. Na Figura 47 as medidas das mesmas feições, extraídas em laboratório com base nas imagens georreferenciadas.

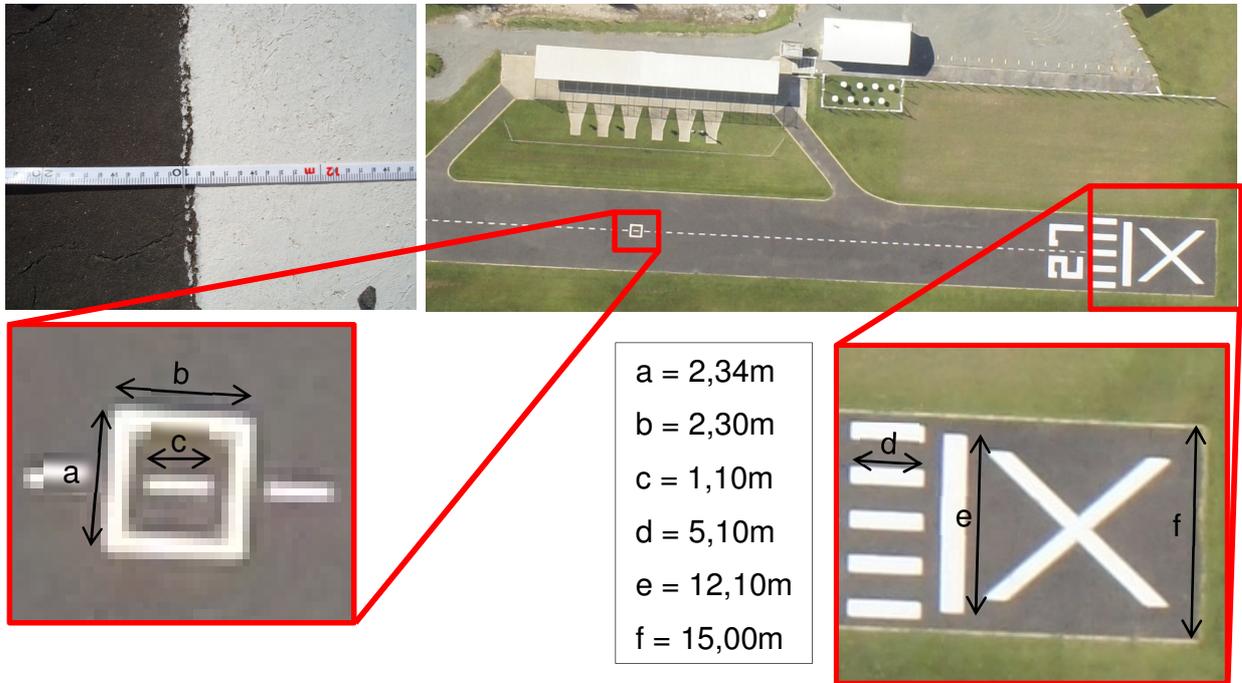


Figura 46: Exemplificação de seis medições realizadas em campo por meio de fita métrica.

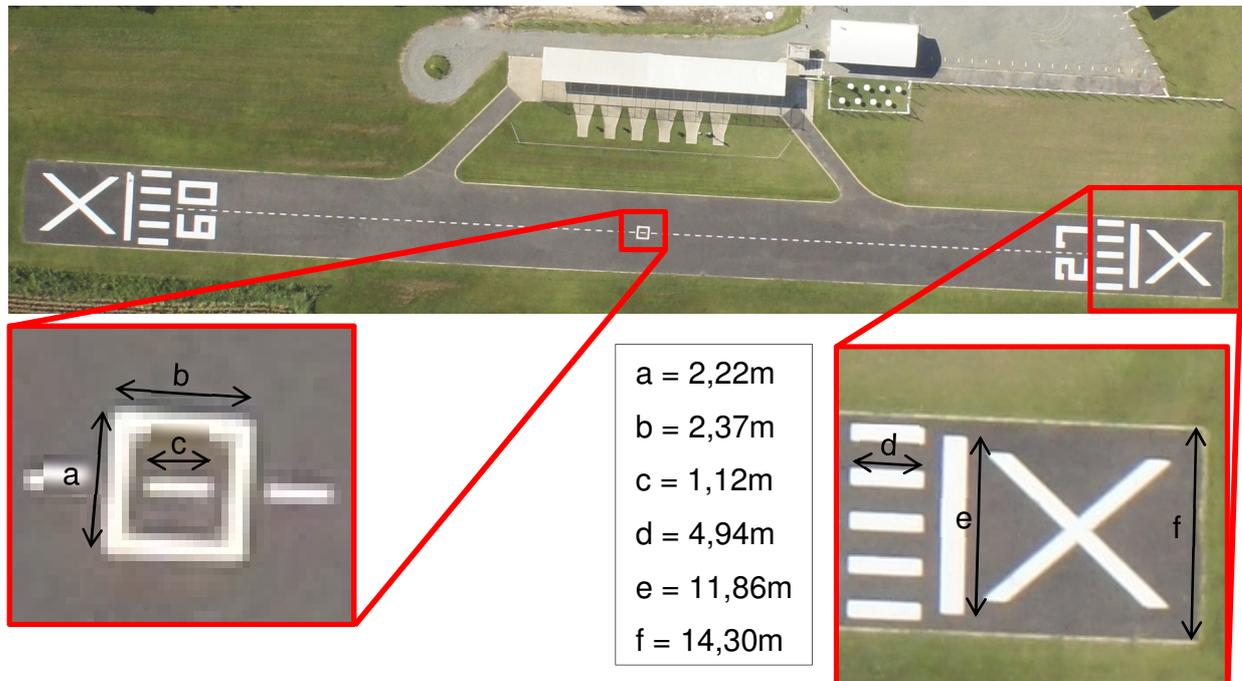


Figura 47: Exemplificação de seis medições extraídas de uma imagem SAMA.

Como pode ser observado, a medida que os objetos aumentam de tamanho, aumentam também os erros correlatos ao seu comprimento. Realizando uma estimativa de todos os comprimentos mensurados na imagem SAMA, o erro foi de aproximadamente 2,98% em relação ao tamanho real dos objetos.

Além de dimensões lineares, a área de objetos conhecidos pode ser estimada assumindo como referencia a ortofoto-carta. A Figura 49 apresenta a imagem de uma mesma piscina, registrada pela imagem obtida com o sistema SAMA e com a imagem da base de referencia.

Uma vez que nesse experimento os voos foram realizados a uma altura de 450 m, as imagens obtidas possuem pixel de 9 cm no solo. Por sua vez a ortofoto-carta possui pixel com resolução de 40 cm. Baseado nessas informações e através da contagem do número de pixels existentes no interior do polígono que delimita a piscina na ortofoto-carta, 350, e na imagem SAMA, 6790, as áreas estimadas foram respectivamente de 56m² e 54,9m². O resultado obtido apresentou uma diferença de 1m².

Essa diferença provavelmente se deve a dois fatores: a falta da orientação interior da câmera utilizada e a baixa resolução da imagem da ortofoto-carta, que dificulta a localização exata do mesmo ponto nas duas imagens. Isso pode ser observado na novamente Figura 48 que apresenta a comparação entre as resoluções da imagem gerada pelo SAMA (a) e a imagem da ortofoto-carta (b).

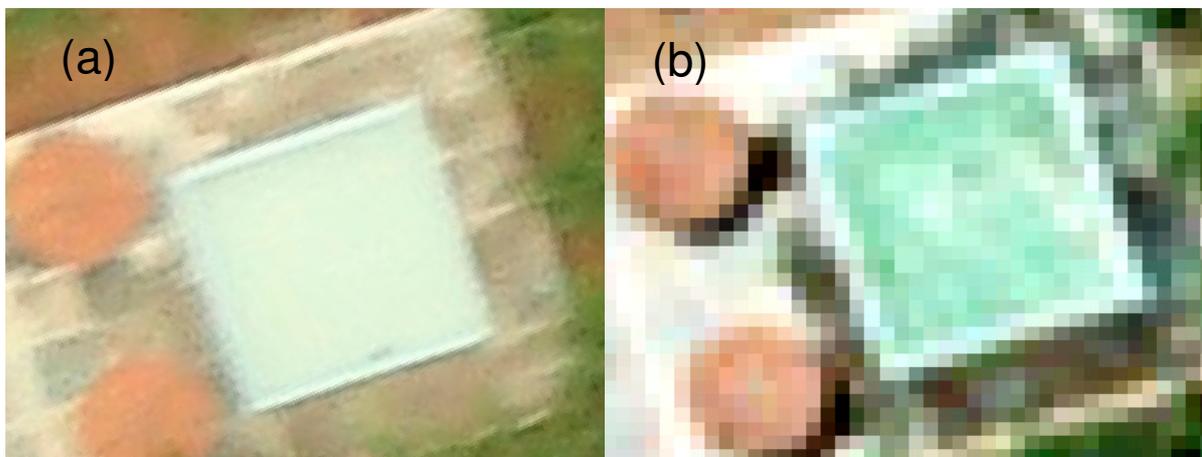


Figura 48: (a) Área da piscina na imagem do SAMA; (b) Área da piscina na ortofoto-carta.

Assumindo que esse procedimento possa ser estendido para outras áreas da imagem, desde que localizadas em superfícies não acidentadas, foi possível determinar o recobrimento da superfície do lago por macrófitas.

A Figura 49 mostra o exemplo onde parte da área com a presença de macrófitas foi estimada. Isso foi feito com a delimitação da região pelo polígono delineado e a contagem do número de pixels contidos nessa área, chegando-se a uma área de 41600m².



Figura 49: Estimativa aproximada da área ocupada por macrófitas.

Essa metodologia pode ser aplicada para estimativa de áreas ocupadas por macrófitas, uso e ocupação do solo, área de mata ciliar, área de queimadas ou qualquer outro tipo de cobertura de interesse, desde que em superfície plana.

Com a estimativa de dimensões de objetos de tamanhos conhecidos, observou-se que os erros não foram significativamente elevados, atestando a possibilidade de se extrair informações quantitativas de aspectos ambientais, permitindo com isso, aferir de forma aceitável para o uso proposto pelo SAMA, informações como: posição geográfica

de locais onde ocorre disposição irregular de resíduos; comprimento de plumas de sedimento em suspensão em corpos hídricos durante a execução de dragagens; evolução de área de cobertura vegetal no processo de recuperação de mata ciliar; entre outras.

6.2 EXPERIMENTO 2 e 3

Os experimentos 2 e 3 foram realizados com o intuito de se analisar se é possível extrair informações ambientais de áreas de preservação permanente. O primeiro realizado nas áreas de borda de um reservatório, e outro na faixa de domínio em uma BR.

6.2.1 Geração de Mosaicos e Georreferenciamento Para o Experimento 2

Foram gerados mosaicos representativos de cada uma das três áreas monitoradas, e posteriormente orientados geograficamente possibilitando assim extrair informações de interesse. As Figuras 50, 51 e 52 apresentam exemplos de mosaicos produzidos para cada uma das três áreas deste experimento, as imagens foram sobrepostas na base do Google Earth® para facilitar sua compreensão dimensional, os marcamos circulares nas imagens representam a trajetória programada para a aeronave.

Na Figura 51 é possível observar um bom agrupamento das imagens de duas faixas de voo, a aeronave conseguiu cumprir com perfeição a linha de voo programada, devido à baixa velocidade do vento no horário da missão.



Figura 50: Exemplificação de mosaico gerado com imagens da área 01.

A Figura 51 apresenta um exemplo de mosaico produzido para a área 02. Como pode ser observado na imagem, a velocidade do vento influenciou na sobreposição dos mosaicos, ocasionando alguns erros de junção, também há algumas falhas de sobreposição ocasionados pela ausência de diferentes perfis de cor nas imagens, dificultando assim, a identificação de pixels análogos nas imagens adjacentes compostas apenas por água.



Figura 51: Exemplificação de mosaico gerado com imagens do experimento Capivari, na área 02.

A Figura 52 apresenta um exemplo de mosaico produzido para a área 03. A velocidade do vento na hora da tomada das imagens fez com que a aeronave voasse com seu eixo rotacionado, gerando assim imagens inclinadas em relação ao plano de voo programado, porém, esta deriva da aeronave manteve-se constante preservando a sobreposição nas imagens.



Figura 52: Exemplificação de mosaico gerado com imagens do experimento 2, na área 03.

6.2.2 Resultados do Experimento 2

A escala obtida durante a realização deste experimento foi de 1:

As imagens permitiram a realização de análises qualitativas, por apresentarem uma boa resolução, ou seja, um tamanho de pixel aceitável para a identificação de alterações no ambiente.. Um exemplo dessa análise é mostrado nas Figuras 53 e 54, onde se observa o crescimento da mata ciliar de um pequeno riacho, indicado pelas setas, em um intervalo de tempo de oito anos.



Figura 53: Vegetação existente na margem do rio em setembro de 2002



Figura 54: Vegetação existente na margem do rio em dezembro de 2010

As imagens permitiram a identificação de diversos tipos de vegetação, como a área 01 mantinha um projeto de reflorestamento, é possível acompanhar o desenvolvimento desta recomposição. A Figura 55 apresenta estas áreas replantadas, que apresentam-se circundadas por um polígono para facilitar sua visualização.



Figura 55: Imagem gerada na área 01 com ocorrência de diferentes tipo de vegetação

As Figuras 56 e a 57 apresentam a comparação das áreas de reflorestamento da área 01, em um intervalo de oito anos. O destaque nessa área é o desenvolvimento vegetacional observado nesse período, os retângulos nas imagens destacam áreas onde se nota a recuperação da vegetação.

Ainda comparando as duas imagens é possível observar que na imagem de 2002 do Google Earth®, a água do lago que se encontra na margem do reservatório, apresentava coloração esverdeada bastante diferente em relação à do reservatório, indicando um possível processo de eutrofização. Já na imagem gerada pelo SAMA em 2010, o lago não apresentou tal coloração.



Figura 56: Imagem para comparação obtida por satélite em 2002



Figura 57: Imagem para comparação obtida pelo VANT em 2010

A área 02 deste experimento foi escolhida por haver ocupação antrópica irregular nas margens do reservatório. As Figuras 58 e 59 exemplificam esta ocupação e expõem que houve um crescimento das construções em um intervalo de oito anos na comparação da imagem gerada pelo SAMA e do Google Earth®, as setas indicam os locais onde se verificou este adensamento.



Figura 58: Imagem obtida com o SAMA em dezembro de 2010.



Figura 59: Imagem extraída do Google Earth® de dezembro de 2002.

Na área 03 deste experimento foi possível identificar o adensamento da ocupação antrópica de áreas próximas ao reservatório. As Figuras 60 e 61 ilustram esta

evolução, devido a resolução das imagens é possível realizar uma relação percentual do aumento da ocupação a partir da contagem do número de casas, que no caso das imagens foi de aproximadamente 33%.



Figura 60: Imagem de satélite em 2002 extraída do Google Earth® para parte da área do experimento 3



Figura 61: Imagem do SAMA em 2010 para parte da área do experimento 3

Observa-se na Figura 62 a área sobrevoada e a localização da região em destaque marcada pelo quadrado. Essa área em destaque apresenta a maior ampliação possível das fotos obtidas. Isso foi feito para destacar que é possível observar detalhes, como a deposição de detritos que se encontram nesse local e ainda identifica-los geograficamente.

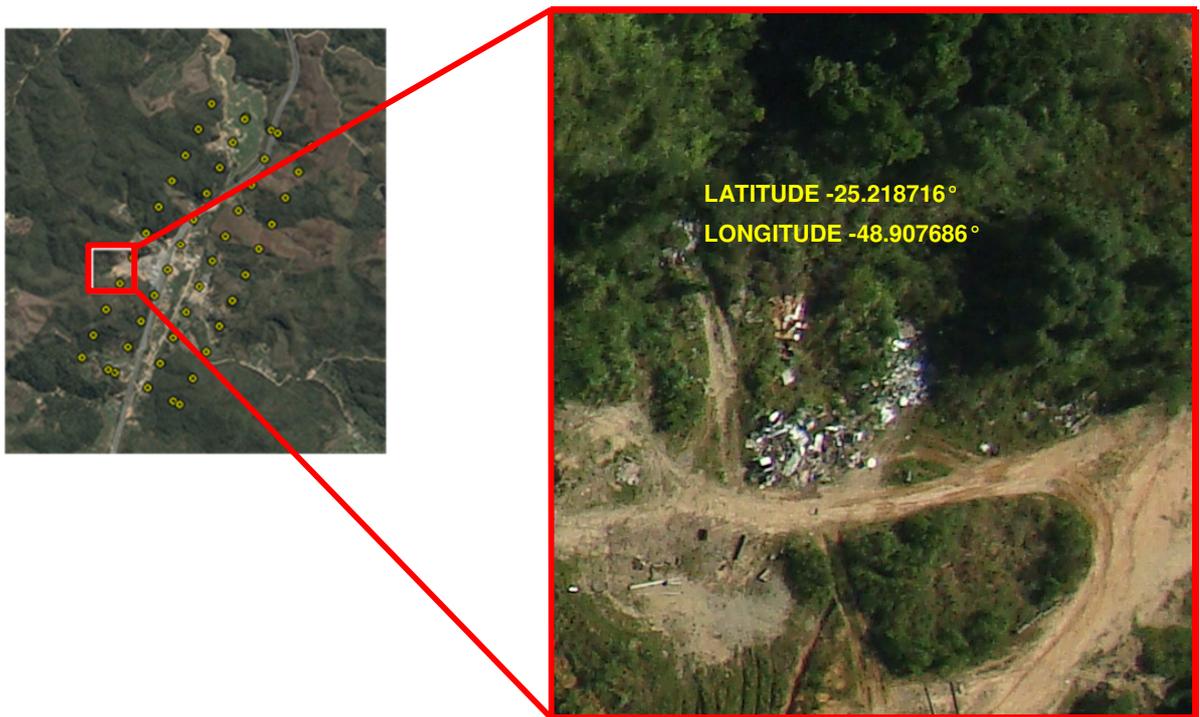


Figura 62: Detalhe de imagem com ampliação máxima

Outro aspecto observado com o monitoramento do SAMA é o da erosão das margens, que acomete reservatórios sujeitos a grandes variações de nível, provocando portanto, a exposição do solo submerso à ação de intempéries climáticas. Como observado na Figura 63, a imagem gerada pelo sistema SAMA possui resolução suficiente para permitir a identificação deste fenômeno na borda do reservatório da UHE Parigot de Souza.

A Figura 64 apresenta uma ampliação da imagem para melhor análise do processo erosivo.



Figura 63: Imagem georreferenciada obtida com o SAMA na área 03, com detalhe erodido na imagem circulado.



Figura 64: Ampliação do detalhe da erosão da imagem 64.

Como pôde ser observado no exemplo anterior, o sistema SAMA demonstra versatilidade quanto a identificação e localização de locais impactados, agilizando assim trabalhos de mitigação em áreas específicas.

6.2.3 Geração de Mosaicos e Georreferenciamento Para o Experimento 3

Como neste experimento o interesse foi monitorar a faixa de domínio de um trecho em obras de recuperação da BR-262, não houve a necessidade de um plano de voo com várias faixas, uma vez que a largura das imagens foi suficiente para recobrir toda a região de interesse. Sendo assim, o trabalho de confecção dos mosaicos foi facilitado, pois, apenas fotos adjacentes foram agrupadas e não conjunto de imagens como no caso dos experimentos 1 e 2.

A Figura 66 apresenta um exemplo de trecho da rodovia monitorado neste experimento. Observa-se que neste exemplo as imagens apresentaram problemas de luminosidade. Isso se deve ao fato dos parâmetros da câmera terem sido configurados de forma manual, permanecendo constantes durante todo o tempo de execução do voo. Quando ocorre diminuição da quantidade de luz devido a cobertura de nuvens, as imagens geradas tendem a apresentar esse tipo de problema.

O propósito desse experimento foi a geração de imagens das áreas diretamente afetadas pelas obras de recuperação da rodovia. Observa-se na Figura 65, que a aeronave foi capaz de acompanhar a trajetória programada demarcada pelos marcros circulares ao longo da rodovia.

Não houveram influencias consideráveis do vento sobre a sobreposição das imagens, acarretando assim, uma boa qualidade dos mosaicos produzidos. A rodovia se manteve localizada no centro do domínio com 150m de margem nos dois lados como área de interesse.

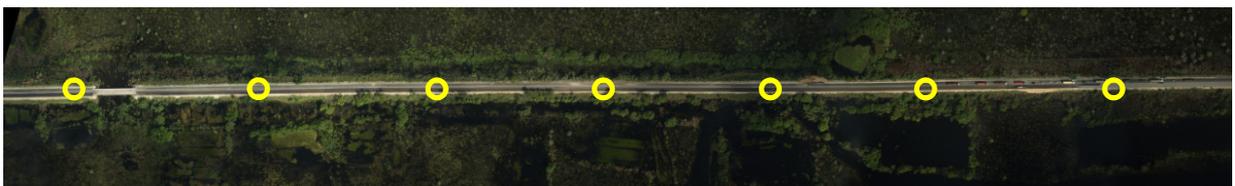


Figura 65: Primeiro exemplo de mosaico produzido neste experimento

6.2.4 Resultados do Experimento 3

As imagens permitiram a realização de análises qualitativas, por apresentarem uma boa resolução. Um exemplo dessa análise é mostrado nas Figuras 66 e 67, onde se observa a diminuição da cobertura vegetal de uma determinada área indicada pelas setas, em um intervalo de tempo de um ano. Também é possível visualizar um lago com uma coloração muito esverdeada em relação aos outros lagos presentes nas imagens da mesma região, um indício de eutrofização.



Figura 66: Imagem da vegetação existente na margem da BR-262 em 2010, retirada da base do Google Earth®.



Figura 67: Imagem da vegetação existente na margem da BR-262 em 2011, confeccionada com o SAMA.

Na Figura 68 é possível observar os locais onde foram retirados materiais para a confecção de aterros, estes locais são denominados de cavas e estão indicados na imagem pelas setas.



Figura 68: Localização das áreas onde foram retirados materiais para a construção da rodovia

A Figura 69 apresenta um mosaico do último trecho do experimento com ampliação máxima possível da área demarcada pelo retângulo, onde é possível visualizar uma área totalmente desnuda de vegetação e já com sinais de processos erosivos. A imagem apresenta qualidade suficiente para identificação das feições ambientais modificadas e sujeitas a riscos de degradação.



Figura 69: Mosaico confeccionado no último trecho do experimento.

Esta alta resolução propicia a localização de impactos ambientais causados ou não pela reforma da rodovia, podendo estes ser tratados mais eficientemente de forma pontual ou conjunta dependendo do tipo, da localização e da quantidade de recursos disponíveis.

7 CONCLUSÕES

O principal objetivo desse trabalho foi analisar o uso de imagens geradas por um sistema baseado em um veículo aéreo não tripulado para monitoramento ambiental de APPs. A qualidade das imagens foi analisada do ponto de vista da fotointerpretação, além da possibilidade de se extrair informações quantitativas como coordenadas geográficas, extensões e áreas de aspectos ambientais de interesse.

Com relação à fotointerpretação, a alta resolução das imagens permitiu a identificação de aspectos ambientais nas áreas avaliadas, tais como, a evolução da ocupação antrópica, o desenvolvimento vegetacional, áreas degradadas, áreas reflorestadas, erosão de margens, movimentação da cobertura por macrófitas, entre outros.

As informações qualitativas extraídas dos mosaicos apresentaram qualidade suficiente para atividades de monitoramento ambiental, porém, para atingir este grau satisfatório de resultado, foram necessários diversos testes de campo e pesquisas em laboratório, para aprimorar o protótipo e identificar as peculiaridades que podem interferir na operacionalidade do sistema.

Durante os primeiros testes foi constatado que o acréscimo de peso devido à instalações do piloto automático, câmera fotográfica e flutuadores, seria necessária a troca do motor original de 20 cc, por um motor de 30 cc. Os testes também mostraram que a vibração do motor provocava perda de qualidade das imagens. Com isso foi necessário utilizar coxins no motor, bem como instalar a câmera fotográfica em uma base com suportes amortecedores.

Para que a aeronave pudesse operar do espelho de água, foi necessário que todos os componentes sensíveis à umidade fossem isolados, como no caso do piloto automático e do conjunto de aquisição de imagens que foram totalmente vedados.

Os experimentos também revelaram que a condição meteorológica ideal para realizar as operações consiste em ventos fracos e alinhados com as linhas do plano de voo. Ventos com velocidades superiores a 50% da velocidade de cruzeiro da aeronave inviabilizam a utilização do sistema. Considerando que nas operações realizadas nesse trabalho, a aeronave foi programada para desenvolver velocidade de cruzeiro da ordem

de 50 km/h, o vento máximo sustentável seria de 25km/h. Importante observar que esse vento é relativamente forte e normalmente ocorre durante tempestades, o que inviabiliza a realização dos voos também devido a ocorrência de chuvas intensas.

Desde que os detalhes mencionados estejam sob controle, o monitoramento ambiental qualitativo com a utilização do VANT possui vantagens significativas que podem justificar o uso desta metodologia. Entre estas vantagens destacam-se:

- a quantidade relativamente reduzida de técnicos necessários para sua execução;
- custo reduzido para implantação e manutenção, podendo possibilitar um número maior de inspeções periódicas;
- as operações são quase imperceptível no ambiente monitorado, minimizando interferências de grupos locais, com outros interesses.

O tamanho do pixel gerado nas imagens obtidas com o SAMA, também se apresentou como uma das vantagens mais significativas na utilização deste sistema. Foram obtidos pixels com valores de aproximadamente 10cm' em solo, proporcionando assim imagens de boa qualidade para avaliações de fotointerpretação.

A orientação exterior das imagens do SAMA com pontos de controle obtidos da base do Google Earth® apresentou erro médio de 7,6 m. Embora esse erro seja relativamente elevado quando comparado com os erros obtidos com metodologias convencionais, para a visualização do uso e ocupação do solo identificando impactos ambientais foram satisfatórios.

O sistema SAMA pode ser operado por apenas dois técnicos, e os custo de todos os componentes é relativamente baixo, quando comparado aos custos de outras metodologias de monitoramento ambiental por via aérea ou terrestre.

Em resumo, essa análise nos permite afirmar que a economia e versatilidade são as principais vantagens do sistema, especialmente para mapear áreas de pequena extensão.

Outro importante fator de favorabilidade na implantação do SAMA é a disponibilidade, no mercado, de aeromodelos adaptáveis, que podem ser facilmente

equipados com uma câmera não métrica. Estes aviões além de serem leves podem ser mantidos em locais perto da área da missão ou também ser transportados a pé.

Contudo, deve-se observar que, não obstante as vantagens até aqui mencionadas, o SAMA ainda apresenta alguns problemas que merecem mais estudos e ajustes para que sejam superados, como por exemplo a baixa autonomia da aeronave e sua grande suscetibilidade às condições de vento.

Uma das principais motivações deste trabalho é o fato de que esta tecnologia ainda é muito pouco utilizada no país, principalmente no tocante ao monitoramento ambiental, o que está cada vez mais em destaque pelo mundo, devido a crescente pressão da sociedade quanto à temática de conservação ambiental.

Monitoramentos ambientais necessitam ser realizados periodicamente e apresentar resultados no menor espaço de tempo possível especialmente quando são realizados visando avaliação de impactos. Nestas ocasiões a utilização do SAMA mostra-se extremamente eficiente, pois permite a obtenção de dados com qualidade e em curto espaço de tempo.

Em possíveis trabalhos futuros, poderiam ser realizadas correções de ortorretificação nas imagens, uma melhoria no sistema de estabilização da aeronave e a fixação de uma base de estabilização da câmera fotográfica, tais melhorias diminuiriam o consideravelmente os erros calculados neste trabalho.

8 REFERÊNCIAS

ABRAGEO. **Estatuto**. Mato Grosso, 2006. Disponível em <<http://www.abrageo.com.br/estatuto.php>>

ABNT. **NBR ISO 14001: Sistemas de Gestão Ambiental: especificação e diretrizes para uso**. Rio de Janeiro, 1996.

ACOSTA S. **Applications of small format aerial photography with focus on Squaw Creek Nacional Wildlife Refuge**. Report of ES 500: Small Format Aerial Photography, Emporia State University, Kansas-USA, 2003.

BRAGA, R. **Instrumentos para a gestão ambiental e de recursos hídricos**. Ed. Universitária UFPE, Recife, 2009.

BRANDALIZE, M. C. B. **Apostila de Topografia**, 2004. Disponível em <[http://www2.uefs.br/geotec/topografia/apostilas/topografia\(15\).htm](http://www2.uefs.br/geotec/topografia/apostilas/topografia(15).htm)>

BROWN M. and LOWE D. **Automatic Panoramic Image Stitching using Invariant Features**. International Journal of Computer Vision, 74(1), pages 59-73, 2007.

CHAVIER. L. F. C. **SciaGeo - Um Sistema de Captura de Imagens Aéreas Georeferenciadas. Dissertação de Mestrado**, Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação. Universidade de São Paulo. São Carlos - SP. Brasil. 2005.

CHEN, S. **Small-Format Aerial Photography for Highway-Bridge Monitoring**. Journal of Performance of Constructed Facilities, V. 25, 105, 2011.

CUNHA R.M.P. et al. **Uso de imagens de pequeno formato como instrumento na elaboração e implantação de projetos costeiros. O sistema ADAR 1000**. GRAVEL. Porto Alegre, V. 7, 47-56, 2009.

DISPERATI, A. A. **Obtenção e uso de fotografias aéreas de pequeno formato**. Curitiba: UFPR, FUPEF, 1991.

DISPERATI, A. A.; AMARAL, R. F.; SCHULER, C. A. B. **Fotografias aéreas de pequeno formato: Aplicações Ambientais**. Guarapuava: Unicentro, 2007.

EISENBEISS, H. **A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition**. International Archives of Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 36(5/W1), 2004.

EMBRAPA. **Monitoramento Ambiental**, 2007. Disponível em <
http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-açucar/arvore/CONTAG01_73_711200516719.html>

EPIPHANIO, J.C.N; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. **Índices de vegetação no sensoriamento remoto na cultura do feijão**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 31, n. 6, p. 445-454. (1996)

EISENBEISS H.; et. al. **Photogrammetric documentation of an archaeological site (palpa, peru) using an autonomous model helicopter**. CIPA XX International Symposium, Torino, 2005.

EVERAERTS, J. **The Use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVS) for Remote Sensing and Mapping**, In: **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. ISPRS Congress, Beijing, China, XXXVII. Part B1, 1187-1192, 2008.

FAGUNDES. P. M. e TAVARES. P. E. M. **Fotogrametria**. Rio de Janeiro. UERJ.

FENSHAM R. J. and FAIRFAX R. J. **Aerial photography for assessing vegetation change: a review of applications and the relevance of findings for Australian vegetation history**. Australian Journal of Botany 50 (4) 415 – 429, 2002.

GALO, M. L. B. T. et al. **Uso do sensoriamento remoto orbital fio monitoramento da dispersão de macrófitas nos Reservatórios do Complexo Tietê**. Planta Daninha, v. 20, 2002.

GONÇALVES, D. A., et al. **Fotografias aéreas de pequeno formato aplicadas na identificação, quantificação e planejamento de recuperação de áreas de preservação permanente**. Anais VII simpósio brasileiro de sensoriamento remoto. Goiânia, 16-21, 2005.

HAARBRINK R.B.; KOERS E. **Helicopter UAV for photogrammetry and rapid response**. Second International Workshop: The Future of Remote Sensing ,17 – 18, Antuérpia, 2006.

HARDIN, P. J.; JACKSON, M. W. **An unmanned aerial vehicle for rangeland photography**. Rangeland Ecology and Management, 58, 439-42, 2005.

HENNEMANN G.R. and NAGELHOUT A. **Wind Erosion Mapping and Monitoring in the Central Rift Valley of Kenya Using Small-Format Aerial Photography (SFAP)**. 12th ISCO Conference, Beijing, 2002.

IBGE. **Noções básicas de cartografia**. Rio de Janeiro. disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/manual_nocoos/processo_cartografico.html>

IDOETA I. V.; CINTRA J. P. **Elaboração de bases cartográficas para projetos de engenharia: a relação entre produtor e usuário**. XXI Congresso Brasileiro de Cartografia, Belo Horizonte, 2003.

INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO. **Projeto Vant**, São José dos Campos, 2010, Disponível em <<http://www.iae.cta.br/vant.php>>

JUNIOR, O.F.S et. al. **Erosão pluvial e costeira na falésia de Tabatinga – litoral leste do Rio Grande do norte**. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, Goiânia, 2001.

KOLDAEV, A. **Basic principais for UAS development for non-military applications**. International Conference & Exhibition on Unmanned Aircraft Systems. Paris, 2009.

LALIBERTE A. S.; et. al. **Unmanned aerial vehicles for rangeland mapping and monitoring: a comparison of two systems**. SASPRS Annual Conference, 7-11, Florida, 2007.

LIBRARY OF CONGRESS. **Photograph of San Francisco in ruins from Lawrence Captive Airship, 2000 feet above San Francisco Bay overlooking water front. Sunset over Golden Gate, 1906**. disponível em <<http://www.loc.gov/pictures/resource/ppmsca.07823/>>

MARENCHINO D. **Low-cost UAV for the environmental emergency management. photogrammetric procedures for rapid mapping activities.** Journal Horizon, Torino, 2009.

MARTINS L. M.; et. al. **Small format aerial photography to assess chestnut ink disease.** Snow Landsc. Res. 76, Vila Real-Portugal, 357–360, 2001.

MICROPILOT. **Manual-horizon user guide 3.4. 5.** ed. Manitoba, Micropilot, 2010.

MONTEIRO, S. A. **Metodologia de mapeamento aéreo com fotografias de pequeno formato aplicadas no planejamento e gerenciamento de unidades de conservação.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), UFRGS, Porto Alegre, 2000.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicação.** 2. ed. Viçosa: Ed. da Universidade Federal de Viçosa, 2003.

NASA. **Western States Fire Mission**, disponível em: <<http://www.nasa.gov/centers/dryden/research/wsfm.html>> Acesso dia 20 de Fev. 2011.

NEVES, R, L, S. **Avaliação da contaminação de óleo no ambiente estuarino da Baía de Guanabara (RJ) pela determinação fluorimétrica de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) na bÍlis de peixes Mugil liza**, Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2006.

NERIS, L.O. **Um piloto automático para as aeronaves do Projeto Arara.** São Carlos: UFSC, 2001

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** São Paulo: Edgard Blücher, 2008.

OLIVAS, M. A. A. **Fundamentos da Fotogrametria.** Curitiba, UFPR, 1999.

OLIVEIRA, F. A.1 **Seminário Internacional de VANT**, Centro Técnico Aeroespacial, São José dos Campos, 2005.

OLIVEIRA, F. A. **PROJETO VANT histórico e Situação atual**. 2 workshop de nanotecnologia aeroespacial, São José dos Campos, 2006.

PAINE, D. P.; KISER, J. D. **Aerial photography and image interpretation**. 2. ed. New Jersey - Usa: Wiley, 2003.

PAULA V. M. G. **BQM-1BR O VANT à jato brasileiro**, Centro de Pesquisas Estratégicas Paulino Soares de Sousa, UFJF, 2009.

PEEL, M. C., FINLAYSON B. L., MCMAHON T. A. **Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification**. Hydrology and Earth System Sciences, 11, 1633–1644, 2007

PIOVESAN, E.C.; et. al. **Sistema de Obtenção de Fotos e Imagens com Aeromodelo**. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Departamento de Cartografia. Presidente Prudente, SP, 2002.

QUILTER, M. C.; ANDERSON, V. J. **A proposed method for determining shrub utilization using (LA/LS) imagery**. Journal of Range Management, 54, 378-381, 2001.

RPAV. **The Radioplane Target Drone**, 1935. disponível em <http://www.ctie.monash.edu/hargrave/rpav_radioplane.html>

SILVEIRA, V. **Brasil já desenvolve o veículo não tripulado**. São José dos Campos (SP), 03 jan. 2005. Disponível em <<http://www.defesanet.com.br/tecno/vant/>>

WARNER, E. S.; GRAHAM, R. W.; READ, R. E. **Small format AERIAL PHOTOGRAPHY**. Whittles Publishing. Malta., 1996.