

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ANTONINHO JOÃO PEGORARO

**ESTUDO DO POTENCIAL DE UM VEÍCULO AÉREO NÃO
TRIPULADO/ QUADROTOR, COMO PLATAFORMA NA OBTENÇÃO
DE DADOS CADASTRAIS**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Civil da Universidade Federal de
Santa Catarina para a obtenção do Grau de Doutor
em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. -Ing. Jürgen Wilhelm Philips

**FLORIANÓPOLIS
2013**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Pegoraro, Antoninho João
Estudo do potencial de um veículo aéreo não tripulado/quadrotor, como
plataforma na obtenção de dados cadastrais/ antoninho joão pegoraro ;
orientador, Jürgen Wilhelm Philips - Florianópolis, SC, 2013.
217 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Cadastro Técnico
Multifinalitário . 3. Veículos Aéreos Não Tripulados
(VANTS). 4. Sensoriamento Remoto. 5. md4-1000. I. Philips, Jürgen
Wilhelm . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

ANTONINHO JOÃO PEGORARO

**“ESTUDO DO POTENCIAL DE UM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO/
QUADROTOR COMO PLATAFORMA NA OBTENÇÃO DE DADOS CADASTRAIS”**

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de “Doutor em Engenharia Civil” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 5 de abril de 2013.

Prof. Roberto Caldas de Andrade Pinto, Ph. D.
Coordenador do PPGEC - UFSC

Prof. Dr. -Ing. Jürgen Wilhelm Philips
Orientador/ Moderador - UFSC/ ECV

Banca Examinadora:

Prof. Carlos Antonio Oliveira Vieira Dr.
Membro - UFSC/GCN

Prof. Edison da Rosa, Dr.
Membro - UFSC/MEC

Prof. Francisco Henrique de Oliveira, Dr.
Membro - PPGEC/UDESC

Prof. Arivaldo Leão de Amorim, Dr.
Membro Externo - PPG-AU/FAUFBA

Prof. Rudiney Soares Pereira, Dr.
Membro Externo - UFSM/CCR

AGRADECIMENTOS

À UFSC, pela acolhida junto aos programas de Pós-Graduação, MEC e PPGE, no transcorrer do curso. Ao professor Airton Alonço e ao professor Acires Dias, pela amizade, incentivo e confiança na indicação.

Ao Prof. Dr. Edison da Rosa – pela confiança e oportunidade de ingressar nesta Instituição.

Ao Prof. Dr.-Ing. Jürgen Willian Philips, pela confiança e orientação, em uma segunda oportunidade de permanecer nesta instituição.

À UFSC e à direção do Colégio Politécnico da UFSC, pelo incentivo e apoio prestados.

Ao Departamento de Engenharia Rural do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria (CCR-UFSC), na pessoa do Prof. Dr. Rudiney Soares Pereira pelo acolhimento e apoio na aquisição e pesquisa do VANT md4-1000.

Aos ex-colegas do curso de Engenharia Mecânica da UFSC, especialmente aos do laboratório GRANTE - Grupo de Análise e Projeto Mecânico, da UFSC. Aos colegas do LABSERE da UFSC, pelo apoio e otimismo nas inúmeras tentativas de fazer voar.

Aos colegas de curso: Marcelo Napoleão, Fernando Guajará, e Geraldo Almeida, da UFSC, pelo incentivo, amizade e coleguismo.

Aos colegas do Colégio Politécnico da UFSC, pela amizade, coleguismo e apoio técnico.

À colega Claudia Weber Corseuil, pela amizade e amparo nas horas de sufoco.

Ao amigo João Henrique Quoos pela incansável colaboração.

Aos membros da banca, professores doutores: Arivaldo Leão de Amorim, Francisco Henrique de Oliveira, Carlos Antonio Oliveira Vieira, Rudiney Soares Pereira, Edison da Rosa, pela valiosa avaliação e contribuição intelectual a este trabalho.

Às minhas filhas, Morgana Paula Pegoraro e Luana Carla Pegoraro, à minha esposa Silvana Carlotti, e minha mãe, Anna Therezinha Pegoraro pelas horas de paciência e compreensão.

Agradeço, ainda, a todos não citados que de alguma forma contribuíram para meu aprendizado ao longo da vida e para o desenvolvimento desta pesquisa.

A CAPES, pelo auxílio financeiro concedido.

Por fim, à proteção de Deus, pois Ele está sempre presente em meu caminho.

Não existe comparação entre aquilo que é perdido por não se obter êxito e aquilo que é perdido por não se tentar.

(Francis Bacon)

RESUMO

PEGORARO, Antoninho João. **Estudo do potencial de um veículo aéreo não tripulado/ quadrotor, como plataforma na obtenção de dados cadastrais, 2013.** Doutorado em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina

As fotografias aéreas sempre foram um importante material de apoio nas investigações das mudanças ambientais, quer provocada pela natureza, quer proporcionada pela ação do homem. Os veículos aéreos não tripulados passaram por inúmeras evoluções e hoje se apresentam como uma importante plataforma de obtenção de imagens aéreas. Esta pesquisa teve como foco de investigação o estudo do potencial de aplicação dos produtos obtidos pelo geossensor, instalado no veículo aéreo não tripulado md4-1000 para o Cadastro Territorial Multifinalitário. A metodologia iniciou-se com a operacionalização dos equipamentos, que foi o primeiro desafio enfrentado, obtenção de imagens aéreas e processamento de dados. Foram efetuadas oitenta e quatro decolagens e pousos que serviram para avaliar o potencial deste equipamento. As imagens obtidas foram processadas em diversos aplicativos computacionais, resultando em produtos tais como: imagens panorâmicas, imagens verticais em variadas escalas, pares estereoscópicos, mosaicos semicontrolados e faixas contínuas de voo. Estes produtos podem ser utilizáveis em diversas situações, especialmente na atualização cadastral ou na elaboração de uma base cadastral. O equipamento mostrou-se eficiente para isso, desde que manuseado dentro de suas limitações técnicas. Este trabalho traz um relato das principais atividades desenvolvidas, metodologias utilizadas, problemas enfrentados, resultados alcançados, potencialidades a serem exploradas, sugestões e recomendações para novas pesquisas correlatas. A conclusão principal é que o quadrotor utilizado, ou similares, são plataformas aéreas de sensoriamento remoto com elevado potencial de aplicação no cadastro urbano, mas precisam ser mais exploradas.

Palavras-chave: Cadastro Territorial Multifinalitário. Veículos Aéreos Não Tripulados. *Md4-1000*. Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

PEGORARO, Antoninho João. **Study of the potential for an unmanned aerial vehicle / quadrotor as a platform to obtain cadastral data, 2013.** Doctor degree in Knowledge Engineering Post-Graduation Program. Federal University of Santa Catarina.

The aerial photographs have been an important support material on investigations about environmental changes caused by nature human being. The unmanned aerial vehicles had many evolutions and today they appear as an important platform of aerial images attainment. This research aimed at the study of the potential of application of products obtained from a geosensor installed in the md4-1000 unmanned aerial vehicle for the multipurpose territorial cadastre. The method started with the equipments performance that was the first challenge faced; acquisition of aerial images and data processing. Eighty-four landings and take-offs were made for evaluating the potential of these equipment. The images obtained were processed in many computational applications resulting in products such as: panoramic images, vertical images of different scales, stereo pairs, non-controlled mosaics and continuous lines of flight. These products can be used in different situations, especially on cadastral update or on cadastral base elaboration. Despite its technical limitations, the equipment showed efficiency for that. This work presents a report of the main activities made, method used, problems faced, results achieved, potentialities to be explored, suggestions and recommendations for new similar researches. The main conclusion is that the quadrotor used, or others similar, are aerial platforms of remote sensing with high potential of application on the urban cadastre, but they need to be more explored.

Keywords: Multipurpose Territorial Registration. Unmanned Aerial Vehicles. Md4-1000. Remote Sensing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Primeiro quadrotor, Bréguet-Richet Quad-Rotor Helicopter, 1907.....	35
Figura 2 – Étienne Oehmichen 2.....	36
Figura 3 – Analogias entre os movimentos do helicóptero e o <i>drone</i> /quadrotor em seus eixos de voo.....	46
Figura 4 – Comparação entre algumas plataformas aéreas de captação de imagens.....	46
Figura 5 – Pressão equilibrada, resultando em uma plataforma pairando.....	48
Figura 6 – Momento sobre o eixo x, Impulso diferencial resultando um rolamento.....	49
Figura 7 – Momento sobre o eixo y, impulso diferencial resultando uma arfagem.....	49
Figura 8 –Torque diferencial resultando em um movimento de guinada.....	50
Figura 9 –Esquema de um quadrotor.....	52
Figura 10 – Integração dos principais sensores.....	54
Figura 11 – Georreferenciamento direto com o sistema GPS/INS.....	74
Figura 12 – <i>md4-1000</i>	91
Figura 13 – Dados técnicos que também foram considerados.....	93
Figura 14 – Estação base e antena transmissora.....	95
Figura 15 – Rádio Transmissor Multiplex Royal Pró 9 com os comandos básicos do <i>drone</i>	96
Figura 16 – Câmera Olympus EP1 com a objetiva de 17 mm.....	98
Figura 17 – Grade de pontos do teste em laboratório.....	100
Figura 18 – Centro da área de estudo “alvo”.....	102
Figura 19 – Fluxograma de atividades da missão fotográfica.....	103
Figura 20 – Esquema de rota de voo sem auxílio da estação base... ..	113
Figura 21 – Janela de programação para voo autônomo.....	116
Figura 22 – Imagem do <i>Google Earth</i>	117
Figura 23 – Obtida pelo <i>drone</i>	117
Figura 24 – Disposição para levantamentos no entorno de 360°.....	118
Figura 25 – Imagem capturada pelo modo de captura de imagens do <i>mdCockpit</i>	120
Figura 26 – Imagem tomada no modo manual do RC.....	120
Figura 27 – Mosaico georreferenciado de um fragmento da área urbana do município de Silveira Martins- RS.....	120
Figura 28 –Fluxograma de trabalho.....	121

Figura 29 – Em vermelho, rota programada no <i>mdCockpit</i> ; em amarelo, rota pelas coordenadas dos alvos.	138
Figura 30 – Composição anaglifa por pares estereoscópicos inclinados, no bairro Novo Horizonte – Santa Maria (RS)	142
Figura 31 – Composição anaglifa vertical, de uma amostra urbana da Cidade de Silveira Martins - (RS).....	143
Figura 32 – Composição de imagens na construção 3D	144
Figura 33 – Inspeção aérea.....	144
Figura 34 – Panorâmica horizontal	145
Figura 35 – Detalhes da antena	145
Figura 36 – Imagem do <i>Google Earth</i> de 20/12/2007	146
Figura 37 – Imagem obtida pelo VANT em 11/01/2012	146
Figura 38 – Detalhes da imagem e seus metadados	146
Figura 39 – Rota de voo gravada no <i>mdCockpit</i> (voo 82)	147
Figura 40 – Informações gravadas pelo <i>mdCockpit</i>	147
Figura 41 – Rota de voo do <i>mdCockpit</i> lançados no <i>Google Earth</i> . ..	148
Figura 42 – Imagem correspondente ao ponto plotado (photo 13) ..	148
Figura 43 – Conjunto de imagens inclinadas	149
Figura 44 – Cena reconstituída a partir das imagens inclinadas, no bairro Novo Horizonte, Santa Maria (RS).....	150
Figura 45 - Imagens verticais, no bairro Novo Horizonte, Santa Maria (RS).....	150
Figura 46 – Mosaicagem vertical, cena reconstituída, no bairro Novo Horizonte, Santa Maria (RS).....	151
Figura 47 – Aplicação florestal	153
Figura 48 – Voo 088, levantamento do obelisco José Mariano da Rocha – UFSM.....	153
Figura 49 – Visualização da rota do voo #109 e parâmetros de um ponto específico	156
Figura 50 – Arquivo com a rota de voo lançada no <i>Google Earth</i> ..	157
Figura 51 – Imagens do teste	158
Figura 52 – Imagens a serem restituídas.	159
Figura 53 – Imagem resultante do processamento	160
Figura 54 – imagem retificada	160
Figura 55 – Obras do centro multiuso.....	163
Figura 56 – PAC Monte Belo	163
Figura 57 – Aula de Fotointerpretação.....	164
Figura 58- Aula de Fotogrametria.....	164
Figura 59 – RC antena original	168
Figura 60 – RC antena adaptada	168
Figura 61 – Programação	169

Figura 62 – Calibração	169
Figura 63 – Bateria de Lipo 6 células.....	171
Figura 64 – Bateria de Lipo 4 células.....	171
Figura 65 – Tela do <i>cockpit</i> sem dados de <i>videolink</i> e telemetria	173
Figura 66 – Representação de disposições para levantamento de detalhes	176
Figura 67 – Tela com os dados finais de calibração da câmera Olympus EP1	202
Figura 68 – Altura inicial	203
Figura 69 – Altura aos 72 segundos da decolagem	204
Figura 70 – Registro da altura do pouso a 8,7 m desnivelado em relação à decolagem.....	204
Figura 71 – Voo #109 reproduzido no modo <i>player</i>	205
Figura 72– Registro da rota.....	206
Figura 73 - Relatório automático para análise de parâmetros importantes e leituras dos sensores	206
Figura 74 – Dados de telemetria	207
Figura 75 – Dados dos ângulos de atitude.....	207
Figura 76 – Relatório de atitudes do voo #109.....	209
Figura 77 – Dimensões em milímetros do <i>md4-1000</i>	217

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características da Fotogrametria	41
Quadro 2 – Classificação de sistemas mini e micros VANTs	57
Quadro 3 – Prós e contras dos diferentes tipos de VANTs	58
Quadro 4 – Resoluções espaciais e campos de visão	58
Quadro 5 – Classificação da legislação europeia para UVS (<i>Unmanned Vehicle Systems</i>) e UAV (<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>)	59
Quadro 6 – Estrutura da cartografia municipal no Brasil.....	66
Quadro 7 – Principais características técnicas do quadrotor <i>md4-100091</i>	
Quadro 8 – Principais comandos do <i>drone</i> via rádio	97
Quadro 9 – Principais características da câmera Olympus EP1.....	98
Quadro 10 – Parâmetros de valores de calibração em laboratório ..	100
Quadro 11 – Especificações da objetiva fotográfica	101
Quadro 12 – Equipamentos e itens de checagem	104
Quadro 13 – Principais parâmetros para o planejamento de voo de um quadrotor	109
Quadro 14 – Procedimentos, objetivos específicos, metodologia de aplicação e resultados preliminares alcançados	122
Quadro 15 – Metadados obtidos de forma direta ou indireta.	139
Quadro 16 – Resultados técnicos obtidos.....	154
Quadro 17 – Metadados extraídos de fotos consecutivas em épocas diferentes	175

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relaciona a altura de voo com as dimensões do quadro da imagem sua área, escala e resolução	101
Tabela 2 – Número do voo, data e local, horário da decolagem e altura média relativa às faixas de voo executados.....	113
Tabela 3 – Altura barométrica do <i>Drone</i> X Estação Total	137
Tabela 4 – Relatório do voo #82, relativo aos acionamentos do RC 141	
Tabela 5 – Pontos de apoio levantado para o georreferenciamento .	152
Tabela 6 – Comparativo entre os valores levantados a campo e os processados no aplicativo Global Mapper.....	152
Tabela 7 – Coordenadas dos pontos e os ângulos de referência.....	158
Tabela 8 – Coordenada dos pontos de apoio.....	159
Tabela 9 – Comparação dos dados de atitude de voo.....	161
Tabela 10 – Variação da altura de voo na execução de uma faixa contínua	162

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARARA – Aeronaves de Reconhecimento Assistidas por Rádio e Autônoma
ARP – Aeronaves Remotamente Pilotadas
ASPRS - *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*
BASM – Base Aérea de Santa Maria
b – Dimensão do pixel
CTA – Controle de Tráfego Aéreo Brasileiro
DOD – Departamento de Defesa dos Estados Unidos
DPH – *Dynamic Position Hold*
EUROUVS - Associação Europeia dos Sistemas de Veículos Aéreos Não Tripulados
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAB – Força Aérea Brasileira
FC – *Flight Controller*
FIG – Federação Internacional dos Geômetras
FOV – *Field Of View*
f – Distância focal
GPU – Unidade de Processamento Gráfico
GPS – *Global Position System*
GSD – *Ground Sample Distance*
IMU – Unidade de Medição Inercial
INS – *Inertial Navigation System*
LADAR – *Radar Laser*
LPS – *Leica Photogrammetry Suite*
SD – *San disk*
SIG – Sistema de Informações Geográficas
SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*
NC – *Navigation Controller*
RC – *Rádio Controler*
RTK – *Real Time Kinematic*
KML – *Keyhole Markup Language*
MCS – *Software* de Controle de Missão
OACI – Organização de Aviação Civil Internacional
VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado
VTOL – *Vertical Take Off*
UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*
UFSM – Universidade Federal de Santa Maria
USB – *Universal Serial Bus*
3D – Terceira Dimensão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA	26
1.1.1 Problema.....	27
1.1.2 Proposta.....	28
1.1.3 Questão da pesquisa.....	28
1.2 OBJETIVOS	28
1.2.1 Objetivo Geral.....	28
1.2.2 Objetivos Específicos	29
1.3 JUSTIFICATIVA	29
1.3.1 Relevância e contribuição da pesquisa	30
1.3.2 Justificativas técnicas	32
1.3.3 Justificativas cadastrais.....	32
1.3.4 Abordes da pesquisa	33
2 REFERENCIAL TEÓRICO	35
2.1 HISTÓRICOS DOS QUADROTORES	35
2.2 GOOGLE EARTH.....	37
2.3 PLANEJAMENTOS DE VOO.....	38
2.4 GEOTAGGING DAS COORDENADAS DAS FOTOS.....	39
2.5 CÂMARAS NÃO MÉTRICAS	39
2.6 PLATAFORMAS AÉREAS NÃO TRIPULADAS EM ATIVIDADE.....	40
2.6.1 Balões	42
2.6.2 Paramotores	42
2.6.3 Aviões.....	44
2.6.4 Helicópteros.....	44
2.6.5 Quadrotores.....	45
2.6.5.1 Analogias entre quadrotores e helicópteros	46
2.6.5.2 Princípio de funcionamento dos quadrotores	47
2.6.5.3 Modelo matemático	51
2.6.5.4 Sistemas de Automação Dinâmica.....	53
2.6.5.5 Vantagens e desvantagens entre os VANTs de asa fixa e de asas rotativas	54
2.6.5.6 VANT quadrotor <i>md4-1000</i>	55
2.6.5.7 Limitações na utilização dos VANTs	57
2.7 CLASSIFICAÇÕES DOS VANTS	57
2.8 CADASTROS TERRITORIAIS MULTIFINALITÁRIO	59
2.8.1 Cadastro temático	61
2.8.2 Cadastro 3D.....	63
2.8.3 Base cartográfica cadastral	64
2.9 SEGURANÇA AÉREA.....	67
2.10 Requisitos legais para operar um <i>drone</i>	68

2.11	Regulamentação Brasileira para voos não tripulados	69
2.12	Sistema de Posicionamento Global – GPS	71
2.13	Sistema de Navegação Inercial – INS.....	72
2.14	Aerotriangulação	75
2.15	Qualidades da imagem.....	75
2.16	Fotografia 3D.....	76
2.17	Fotogrametria	76
2.17.1	Sensoriamento remoto.....	78
2.17.2	Fotografia aérea vertical	78
2.17.3	Fotografia oblíqua	79
2.17.4	Fotointerpretação	81
2.17.5	E-foto	82
2.18	Mosaicagem.....	83
2.19	Esterescopia.....	84
2.20	Imagens anaglifa.....	85
2.21	Interferências atmosféricas	85

3 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS..... 89

3.1	Materiais	90
3.1.1	VANT <i>md4-1000</i>	90
3.1.2	Estação base	95
3.1.3	Rádio de controle – RC	96
3.1.4	Câmera e objetiva fotográfica	98
3.2	Procedimentos metodológicos	99
3.2.1	Calibração o da câmera Olympus EP1	100
3.2.2	Treinamento de voo	101
3.2.3	Área de treinamento de voo	102
3.2.4	Trabalhos em laboratório	102
3.2.5	Pré-voos.....	103
3.2.5.1	Editor de <i>waypoints</i>	104
3.2.5.2	Planejamentos de rotas	105
3.2.5.3	Parâmetros para o planejamento de rotas.....	108
3.2.6	Voo no modo assistido	110
3.2.6.1	Modo INS (<i>Inertial Navigation System</i>)	110
3.2.6.2	GPS <i>Position Hold</i>	111
3.2.6.3	<i>Dynamic Position Hold</i> (DPH)	111
3.2.6.4	Posição estática.....	112
3.2.6.5	Recobrimentos longitudinais e laterais (faixas de voo)	112
3.2.7	Voo no modo autônomo	114
3.2.7.1	Função panorâmica.....	115
3.2.7.2	Geotagging	116
3.2.7.3	Montagem de mosaicos	117
3.2.7.4	Inspeções aéreas	118
3.2.8	Pós-voos.....	118

3.2.8.1	Processamentos de dados.....	119
3.2.8.2	Georreferenciamento	119
3.2.8.3	Procedimentos executados	121

4 RESULTADOS.....135

4.1	Resultados alcançados na fase de treinamento.....	135
4.2	Estimativas de altura do md4-1000.....	137
4.3	Comparações da rota de voo do <i>Google Earth</i> com o sistema RTK.....	138
4.4	Metadados das imagens	139
4.5	Relatório de voo relativo às imagens	141
4.6	Pares estereoscópicos.....	141
4.7	Imagens para representação do terreno	143
4.8	Inspeções aéreas.....	144
4.9	Atualizações cadastrais	145
4.10	Mosaicagem.....	149
4.11	Inspeções florestais.....	153
4.12	Levantamento do patrimônio cultural	153
4.13	Resultados técnicos obtidos	154
4.14	Metadados relativos a representação tridimensional da rota do voo	156
4.15	Teste do GSD (<i>Ground Sample Distance</i>).....	158
4.16	Retificação de imagem.....	158
4.17	Variações de altura na faixa de voo	162
4.18	Inspeções de obras	163
4.19	Aplicações Didáticas.....	163

5 DISCUSSÕES.....165

5.1	Testes de decolagem	166
5.2	Rádio.....	166
5.3	GPS.....	168
5.4	Magnetômetro.....	169
5.5	Baterias	170
5.6	Estação base.....	171
5.7	Modo autônomo.....	173
5.8	Planejamento de rota.....	174
5.9	Câmera fotográfica	174
5.10	Cartão SD	174
5.11	Qualidades das informações	175
5.12	Reconstituição de imagens a partir de várias cenas fotográficas	176
5.13	Imagens e metadados correspondentes	176
5.14	Discussões da literatura	177
5.15	Questões respondidas.....	179

6 CONCLUSÕES183

6.1 RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES DE APLICAÇÕES	187
6.1.1 RECOMENDAÇÕES.....	187
6.1.2 SUGESTÕES DE APLICAÇÕES.....	188
REFERÊNCIAS.....	191
APÊNDICE A – RELATÓRIO DE CALIBRAÇÃO DA CÂMERA OLYMPUS EP1.....	199
APÊNDICE B – ALTURA DE VOO, MODO DE REFERÊNCIA ...	203
APÊNDICE C – TELAS DE GRAVAÇÃO DE DADOS	205
APÊNDICE D – LISTA DOS PARÂMETROS PARA AS IMAGENS OBTIDAS POR MEIO DO RELATÓRIO DE VOO DO <i>DRONE</i>.....	209
ANEXO A – PORTARIA NORMATIVA Nº 606/ MD.....	211
ANEXO B – DIMENSÕES DO <i>md4-1000</i>	217

1 INTRODUÇÃO

O efetivo das Forças Armadas americanas será reduzido de 570 mil para 490 mil combatentes. Ao mesmo tempo, o número de aviões não tripulados deve crescer 30%. Atualmente, a Força Aérea americana treina mais operadores de *drones* que pilotos tradicionais. Disponível em:

<<http://www.oretratodobrasil.com.br>>.

Acesso em: 27 de agosto de 2012.

A história relata as evoluções da humanidade, os conflitos, os avanços da ciência e as descobertas que marcam e dividem povos e nações. No século passado, a II Guerra Mundial colocou as grandes nações em uma disputa sem precedentes pelo domínio da cultura de regiões e países. Na busca por melhores tecnologias de guerra, governos investiram fortemente em pesquisas, trabalhando em conjunto com pesquisadores de universidades e empresas desenvolvendo ciência e tecnologia de ponta para a indústria bélica, o que é considerado o princípio da chamada Segunda Revolução Acadêmica (ETZKOWITZ, 2009).

Essa mudança na forma de pensar a pesquisa resultou no surgimento de polos de desenvolvimento tecnológico e no modelo da *Internet*. O projeto da *Internet* fornece o meio necessário para a descentralização, compartilhamento e troca de informações com segurança. O passo seguinte foi o projeto da *Web* (BERNERS-LEE, 1998), tornando a comunicação entre humanos e máquinas uma realidade. Alvin Toffler (1980) define essas mudanças como “A terceira onda”. Para o pesquisador, o mundo, de tempos em tempos, sofre modificações na forma de criar riquezas. São as “ondas de transformação: da Revolução Agrícola para a Revolução Industrial e, na sequência, a Revolução da Informação, do Conhecimento (TOFFLER, 1980)”.

É importante destacar que a Revolução da Informação somente foi possível devido à melhoria da ciência e da tecnologia, das pesquisas e do avanço tecnológico advindo dessa condição, o que se reflete no fato de as indústrias modificarem padrões estabelecidos pela Revolução Industrial e redesenharem os processos de produção em detrimento dos recursos tecnológicos.

Nesse sentido, as áreas de eletrônica e informática integram recursos e se colocam à disposição da indústria no desenvolvimento de novos produtos a fim de atender às demandas de uma sociedade cada vez mais exigente. Um exemplo são as câmeras fotográficas, que são construídas cada vez menores, compactas, com alta capacidade de armazenamento e qualidade de resolução. A tecnologia e os recursos computacionais, integrados aos equipamentos, e a microeletrônica, que corresponde a sensores de estabilização miniaturizados, passaram a incorporar veículos robotizados. Aliado a tudo isto, as indústrias aeronáuticas estão investindo maciçamente no desenvolvimento e construção de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), nas mais diversas categorias de peso, alcance e capacidade de carga.

Atualmente, existem vários tipos de equipamentos radiocontrolados voltados às investigações científicas; dentre eles destacam-se: balões, aviões, helicópteros, paramotores e os quadrotoros. Suas aplicações são variadas, bem como as tecnologias a eles incorporadas. No entanto, servem como alternativas de sensoriamento remoto para a obtenção de imagens aéreas.

A tecnologia, em geral, é melhorada para atender a algum objetivo estratégico, seja ele em nível organizacional ou governamental. Em razão disso, não é possível afirmar que a tecnologia está somente à disposição do bem estar humano, e assim sendo, a aplicabilidade, a eficiência e o propósito de algumas tecnologias continuam sendo objeto de estudo.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Segundo dados do IBGE (2010), o Brasil possui 5.565 municípios, dentre os quais somente 225 possuem população acima dos 100.000 habitantes. Em função dos altos custos dos serviços de levantamento fotogramétricos, os números apontam que somente 4% do universo de municípios podem contar com um acompanhamento e planejamento adequado da sua dinâmica ocupacional.

Sabe-se que a fotogrametria clássica continua sendo a melhor ferramenta para o recobrimento de grandes extensões de mapeamento em escala do mapeamento sistemático, entretanto, em áreas de pequena dimensão, ou para levantamentos por períodos curtos, ela não é viável do ponto de vista econômico. Nesse contexto, este trabalho busca no potencial das aplicações dos VANTs material fotográfico que possam ser utilizado no auxílio do cadastro e o planejamento urbano.

1.1.1 Problema

Nesta pesquisa, o principal problema abordado é a inexistência de um sistema eficiente e viável para o mapeamento de áreas ocupacionais que use sensoriamento remoto, para municípios de pequeno porte. Foram considerados para fins de pesquisa, municípios de pequeno porte aqueles com população até 50 mil habitantes, e densidade habitacional menor do que 80 hab/km², conforme Akaishi (2011). Diante desta deficiência, propor como uma alternativa a utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), especificamente o modelo *md4-1000*, também referenciado aqui como *drone* ou *quadrotor*, como plataforma para obtenção de imagens aéreas que serão utilizadas no Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM). O trabalho traz para a discussão acadêmica uma alternativa de sensoriamento remoto viável como apoio nos levantamentos de pequenas áreas, as quais exijam acompanhamento por períodos curtos, ou áreas de difícil acesso.

Embora os potenciais de utilização sejam amplos em outros equipamentos similares, o quadrotor *md4-1000*, possui grande potencial fotogramétrico, pois vem equipado com sistemas embarcados similares aos da aviação tradicional por um custo acessível. Seu potencial é elevado, mas ainda em fase de exploração. Isso talvez se deva ao fato de ser uma tecnologia pouco conhecida, com pouco incentivo à pesquisa ou ainda porque os seus fabricantes não estão totalmente conscientes e familiarizados com as necessidades especiais dos fotogrametristas e profissionais usuários de dados de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e cadastrais.

Esse equipamento, em princípio, se destinou à avaliação de seu potencial na atualização cadastral territorial, nos mais diversos aspectos e, eventualmente, na construção de modelos em terceira dimensão. Portanto, o desenvolvimento desse projeto deverá preencher uma lacuna na obtenção de dados com alta resolução espacial e temporal dados que, com essas características, permitem auxiliar nas atividades do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) e outras pesquisas. Esse desempenho é fundamental em atividades que requeiram qualidade e quantidade de informações produzidas em curto espaço de tempo. Dada as suas características, o *Microdrone md4-1000* possui a capacidade de coletar imagens de forma automática ou assistida, bastando, para isso, que o operador do sistema programe ou conduza o equipamento nas coordenadas que o veículo deverá percorrer. As imagens podem ser transmitidas em tempo real para a base principal, ou armazenadas em gravadores de bordo.

Com isso, esses sistemas tornaram-se atraentes para grupos de pesquisa envolvidos em projetos de construção e temáticas de investigação científica, porque são de baixo custo e flexíveis para coleta de dados. Nesse sentido, a pesquisa relaciona algumas questões: o que se conhece hoje sobre esses equipamentos? Qual o ganho efetivo no uso desses equipamentos? Quais são as variáveis envolvidas? Quais os produtos que podem ser obtidos e aplicados na fotointerpretação e fotogrametria? Existem vantagens e desvantagens encontradas em relação aos sistemas tradicionais?

1.1.2 Proposta

O Cadastro Territorial Multifinalitário é um campo de interesse que necessita de constantes atualizações de dados cadastrais. Entendendo que incorporar novas tecnologias deve ser um comportamento natural do profissional envolvido no levantamento desses dados, a estratégia desta proposta tem o propósito de trazer uma ferramenta de atualização ou busca desses dados a fim de facilitar ou melhorar os resultados obtidos. Com isso, avaliar o potencial do VANT quadrotor *md4-1000* como plataforma de carga de um geossensor¹ para obtenção de dados espaciais é a ideia central deste trabalho, que está alicerçada na hipótese de que é possível obter imagens aéreas, de uma forma sistemática, por meio de geossensores instalados aos quadrotoros, para fins de estudos cadastrais e ambientais.

1.1.3 Questão da pesquisa

Baseado em testes e informações técnicas de operação, carga dos acumuladores, autonomia de voo, carga útil, alcance, velocidade do vento e capacidade de armazenamento, é possível avaliar e recomendar o quadrotor *md4-1000* para o acompanhamento e planejamento adequado da dinâmica ocupacional das cidades, voltado à atualização cadastral e/ou na construção de uma base cadastral?

1.2 OBJETIVOS

¹ Elementos sensores que monitoram os fenômenos no espaço geográfico, no qual o conteúdo geoespacial das informações coletadas, agrupadas, analisadas e monitoradas é de fundamental importância

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar o potencial do quadrotor *md4-1000* como plataforma na obtenção de dados espaciais.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo principal deste trabalho e responder à questão da pesquisa, os seguintes objetivos específicos foram relacionados:

- Identificar os principais fatores influentes na operacionalização do equipamento.
- Analisar a viabilidade da utilização das imagens digitais na obtenção de modelos estereoscópicos.
- Analisar aplicação das imagens digitais obtidas, na fotointerpretação para atualização do cadastro temático de uma base cadastral.
- Analisar a aplicação das imagens no georreferenciamento direto e indireto.

1.3 JUSTIFICATIVA

A forma de obtenção de imagens aéreas vem crescendo gradativamente entre os sensores utilizados e suas respectivas plataformas. As imagens de satélites obtidas dos mais diversos sensores orbitais estão cada vez mais disponíveis no mercado. A divulgação gratuita desses produtos visa, normalmente, a trazer registros panorâmicos de cenas e em escalas que nem sempre se aplicam aos nossos interesses. Atualmente, o *Google Earth* disponibiliza uma vasta gama de imagens de todo o mundo, obtidas com os mais diferentes sensores e mescladas em diferentes momentos, com as mais variadas qualidades fotográficas, porém, para pesquisas mais detalhadas, ainda não são recomendadas.

No dia a dia, frequentemente se depara com situações que denotam a necessidade de um meio de obtenção de imagens aéreas de forma mais ágil e econômica, a fim de que fenômenos dinâmicos sejam monitorados em tempo hábil. O alto grau de liberdade de voo permitido pelos quadrotoros (decolagem vertical, voo pairado estabilizado, posicionamento e facilidade de aterrissagem) foi explorado com essa finalidade.

Os VANTs são veículos originalmente desenvolvidos para fins militares, os quais passaram a ser utilizados em aplicações civis. Dessas

aplicações, destaca-se a obtenção de imagens aéreas convencionais, infravermelho e até modelos estereoscópicos para fotogrametria. As pesquisas voltadas à utilização dos VANTs estão se desenvolvendo em muitos países, quer para fins de investigação científica, quer para aplicações bélicas. Além disso, as tecnologias estão mais acessíveis, abrindo um leque para as diversas aplicações nos diversos setores de pesquisa. Para tanto, é necessário que pesquisas e metodologias sejam desenvolvidas para que se possa explorar ao máximo seu potencial. É nesse sentido que esta proposta buscou em testes e experimentos nessa ferramenta, uma avaliação do potencial da viabilidade dos veículos aéreos não tripulados quadrotoros para obtenção de informações em tempo real ou quase real.

As tecnologias já desenvolvidas dos voos autônomos dão suporte para isso, tanto na área militar quanto a civil, em suas aplicações inerentes. Por isso, este trabalho, também visa incorporar nas universidades a ideia de aplicação dos produtos obtidos de forma remota por VANTs. Por outro lado também considera a potencialidade da integração dos dados obtidos pelo quadrotor com as imagens de satélite disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), aos dados de espectroradiometria que podem ser obtidos pelo sensor existente na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e a imagens aéreas possibilitadas pela parceria que a UFSM mantém com a Base aérea de Santa Maria (BASM).

1.3.1 Relevância e contribuição da pesquisa

A relevância do estudo de uma teoria pode ter várias razões, entre elas, a utilidade do estudo como alavanca do bem-estar e progresso da sociedade, a perspectiva do avanço teórico ou de aplicação no mundo prático da estrutura teórica que sustenta a pesquisa.

Nesse contexto, a pesquisa define o quadrotor *md4-1000* como a plataforma aérea de obtenção de imagens fotográficas. Este equipamento foi escolhido por proporcionar dados de atitude de voo, por aviônicos² que possibilitam estabilizá-lo dentro de um comportamento aéreo eficiente para boas tomadas fotográficas. Sua capacidade de programação de voo sugere planejamentos de rota que podem ser executados automaticamente e alterados conforme conveniência operacional. Nas rotas de voo, cada ponto de interesse pode ter suas próprias peculiaridades. Assim, o relatório de voo relativo

² Equipamentos elétricos e eletrônicos utilizados na aviação.

às fotografias traz os parâmetros para orientação. Essas particularidades no âmbito da pesquisa tornam-se características importantes nas aplicações científicas, especialmente as relacionadas ao cadastro técnico multifinalitário.

Quando se considera o VANT em aplicações civis, há um grande escopo de cenários possíveis para sua utilização. Por exemplo, pesquisa ambiental remota, monitoração e certificação de poluição ambiental, gerenciamento de queimadas, segurança, monitoração de fronteira, oceanografia, agricultura e aplicações de pesca entre outras. Em geral, todas essas aplicações podem ser divididas em quatro grandes grupos: aplicações ambientais, aplicações de segurança, aplicações de comunicação e aplicações de monitoramento.

No Brasil, iniciativas preliminares na área de construção e utilização de VANTs têm sido procuradas isoladamente por diversos setores, tanto governamental como privado.

Algumas organizações que já realizaram atividades relacionadas a este assunto: Centro Técnico Aeroespacial (CTA); Centro Tecnológico do Exército (CTEx); Escola de Artilharia de Costa e Antiaérea (EsACosAAe), do Exército; Centro de Apoio a Sistemas Operativos (Casop), da Marinha; Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM); Centro de Pesquisa Renato Archer (Cenpra), do MCT; Universidade de São Paulo (USP, São Carlos); Avibrás (ARARIPE, 2005).

Outras iniciativas públicas e privadas na área de desenvolvimento de VANTS, também já consagradas: Flight Solutions, que desenvolve um veículo de curto alcance com aplicação em reconhecimento para o Exército Brasileiro, a empresa AGX em parceria com a Universidade de São Carlos, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) também está desenvolvendo um VANT para aplicações agrícolas e exploração do meio ambiente.

Empresas incubadas, como a Skydrones, instalada na Tecnosinos (UNISINOS) e a Gyrofly Innovations Projetos LTDA., instalada na Incubaero (Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial), tem seus focos em desenvolvimento, produção e comercialização de miniveículos aéreos não tripulados para observação, coleta de informação e dados por meio de voo em baixas altitudes.

A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), através do programa de Pós-Graduação em Geomática, com o objetivo de pesquisar essa tecnologia, adquiriu um modelo de VANT através do projeto apresentado ao programa Pró-Equipamentos-CAPEs N° 27/2010.

No campo científico, cabe ainda destacar que o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Sistemas Embarcados Críticos (INCT –

SEC), localizado no Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC) da universidade de São Paulo (USP) em São Carlos (SP) está desenvolvendo um estudo que trata do uso de VANT para aplicação de defensivos químicos em lavouras, com o principal objetivo de diminuir a quantidade aplicada em locais sensíveis, como margens do terreno, próximos à fauna e à flora.

1.3.2 Justificativas técnicas

O equipamento, objeto deste estudo, é elétrico, possui motores silenciosos e bateria recarregável. Por não possuir eixos móveis no comando dos motores o quadrotor é menos suscetível a falhas mecânicas que um helicóptero tradicional. Devido a isso seu custo operacional é baixo. Pode ser controlado por Controle Remoto (RC) ou voar autonomamente com a ajuda de um sistema de navegação por GPS (*Global Positioning System*), realizando assim voo autônomo com GPS integrado. Fornece a possibilidade de interromper a qualquer momento a mudança do voo automático para o manual e vice-versa, desta forma possibilita o voo estático geoestacionário.

Pode ser equipado com câmeras convencionais, infravermelho e vídeo. Por estar conectado por meio de vídeo *link* à estação base pode-se acompanhar e escolher pessoalmente as imagens em tempo real e no local, pois se tem a noção exata do que está sendo imageado. Possui dois programas de segurança: em caso de perda de sinal RC, por mais de 30 segundos, ou perda do sinal de GPS, retorna ao ponto de partida. Em caso de bateria fraca, dá um sinal de alerta e procede para o pouso. É um equipamento de fácil portabilidade, treinamento e operação simples.

1.3.3 Justificativas cadastrais

Muitas ferramentas da área de geotecnologias, utilizando-se da fotogrametria e georreferenciamento, possibilitam a obtenção de informação relevante sobre os fenômenos ambientais. Desde o advento da fotografia até os modernos sistemas sensores a bordo de satélites e os sistemas de posicionamento global, são utilizados na coleta remota dos dados espaciais para sua aplicação nas diversas áreas que necessitam da informação georreferenciada. Aliado a isso, há um vasto campo de aplicação das imagens aéreas, e, em alguns casos, a rapidez com que são obtidas pode ser fator decisivo no estudo de um sistema, fenômenos ambientais ou simplesmente para apoio técnico, tais como: dinâmica das águas, atualização cadastral urbana, fluxo de veículos, patrulhas

ambientais, patrulhas costeiras, estimativas de rendimento de cultivos agrícolas, mapeamento ambiental, atualização cartográfica, vistorias aéreas, controle de aterros sanitários, controle de lixões, invasões, inspeção e produtos tóxicos, de modo geral, áreas de difícil acesso ou perigosas. No CTM a principal finalidade é no auxílio da criação de uma base de informação cadastral que identifique os limites do espaço geográfico que defina a parcela imobiliária.

Nesse contexto, entende-se que o quadrotor em estudo pode dar uma contribuição científica muito significativa.

1.3.4 Abordes da pesquisa

A pesquisa inicialmente buscou na literatura a fundamentação teórica necessária para identificar os requisitos indispensáveis para então propor um estudo que abordasse aspectos relevantes e ainda não explorados a respeito do assunto. O referencial teórico, apresentado no Capítulo 2, inicia, então, com um breve histórico e uma abordagem geral dos assuntos que se entendeu serem relevantes para o entendimento e a finalidade do estudo. O capítulo 2 ainda faz uma análise da relevância da pesquisa e uma discussão da literatura.

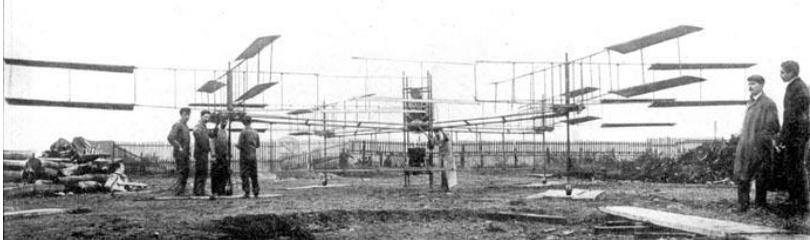
2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, apresenta-se o referencial teórico, o qual contextualiza a visão de vários autores em uma abordagem conceitual e técnica a respeito do tema da tese. Realiza uma seleção da literatura encontrada mais importante para o desenvolvimento do tema, com fontes bibliográficas que dão embasamento ao tema explorado. Estas fontes foram buscadas em teses, ferramentas de busca disponíveis na Web, os *sites* acadêmicos de relevância e portais de instituições nacionais e internacionais e periódicos nacionais e internacionais.

2.1 HISTÓRICOS DOS QUADROTORES

Os quadrotoros têm sua origem datada do início do século XIX, com os irmãos Bréguet e Richet, Figura 1. Na época, não havia estabilidade satisfatória e o projeto foi abandonado, mas introduziu a ideia de pares de rotores rodarem em sentidos opostos para eliminar o torque das hélices. Assim não seria necessário um rotor de cauda para eliminar o antitorque, como acontece com os helicópteros tradicionais.

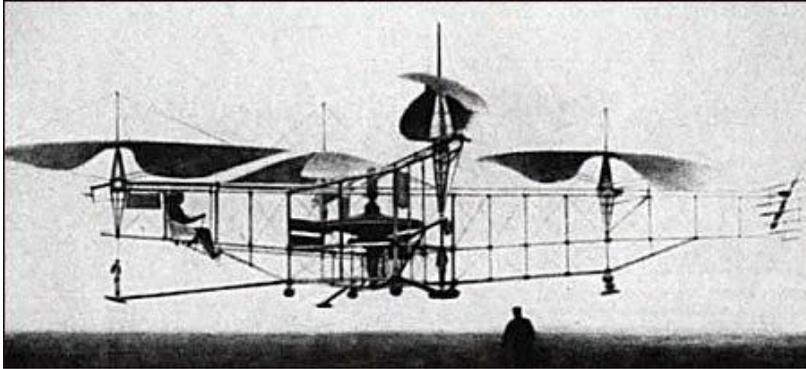
Figura 1 – Primeiro quadrotor, Bréguet-Richet Quad-Rotor Helicopter, 1907



Fonte: <http://en.wikipedia.org/wiki/Quadrotor>.

Outro quadrotor na história dos VANTs de asa rotativa foi criado em 1922 por Etienne Oemichen. Este quadrotor possuía para além dos quatro rotores, oito propulsores, estando tudo ligado ao mesmo motor, Figura 2. Para a altura em que se concretizou, este quadrotor revelou um considerável grau de liberdade e de controlabilidade, realizando mais de mil ensaios durante a década de 1920.

Figura 2 – Étienne Oehmichen 2



Fonte: Microdrones GmbH.

A primeira geração dos quadrotores foi projetada para transportar passageiros. Estes estão entre os primeiros veículos VTOL (*Vertical Take Off*) a ter sucesso. Em particular, o Oehmichen 2 foi o primeiro VTOL confiável, realizado mais de mil voos. A geração mais recente, ao contrário, é projetada para voar sem um piloto a bordo. Empregam sistemas de radiocontrole, sensores eletrônicos e GPS para estabilizar e executar os movimentos. Os sensores atuais de aceleração são tão rápidos e precisos que podem manter sob controle efeitos repentinos de torção de maneira automática. Esses efeitos acontecem com mais frequência e mais rapidamente do que os helicópteros tradicionais. Isso ocorre porque o centro de gravidade do veículo é um pouco abaixo da hélice. Portanto sensores piezelétricos³ são utilizados para determinar a velocidade de rotação das hélices.

Alternativamente, se podem utilizar giroscópios para determinar a orientação do dispositivo. Um sistema incorporado que recebe as informações destes sensores controla as revoluções dos quatro motores elétricos para estabilizar o voo. Como não são necessárias mais peças móveis além dos motores e eixos, esse tipo de quadrotor é muito menos suscetível a falhas mecânicas que um helicóptero tradicional.

Devido à dificuldade para se atingir a estabilidade de uma aeronave deste tipo, bem como da carga física exercida pelo piloto durante a fase de pilotagem, os quadrotores deixaram de ser

³ Piezeletricidade é a capacidade de alguns cristais gerarem corrente elétrica por resposta a uma pressão mecânica. Um sensor piezelétrico é um dispositivo que usa o efeito piezelétrico para medir pressão, aceleração, tensão ou força, convertendo-os em um sinal elétrico.

interessantes e acabaram ressurgindo sob a forma de VANTs de asas rotativas com motores elétricos entre as décadas de 80 e 90. A sua simplicidade de construção, o fato de todos os rotores contribuírem para a força propulsiva, e ainda a carga útil na decolagem serviu como principais atributos.

Usando baterias de lítio-polímero recarregáveis com uma alta relação energia/massa, é possível conseguir voar até 30 minutos. Melhorias futuras, como células a combustível em miniatura, que estão atualmente em desenvolvimento permitirá voos de várias horas (MICRODRONE, MANUAL DO md4 1000, 2011).

2.2 GOOGLE EARTH

Conforme Ribas (2011), além da frequência de atualização das imagens fornecidas pelo *Google Earth*, os usuários também devem ter consciência dos limites de precisão e as aplicações possíveis, uma vez que por detrás da “nitidez da imagem” podem estar ocultos erros que estão sendo desprezados por gerentes de projetos e usuários em geral, podendo trazer sérias consequências nas decisões apoiadas sobre estas bases. O *Google Earth* também apresenta problemas na construção dos mosaicos. Estes problemas surgem durante o processo de superposição de uma mesma cena, fazendo que os pontos correspondentes nas imagens não estejam coincidentes, causados por diversos motivos, entre eles: manipulação dos dados correlacionados por problemas de diferentes tomadas de posição, imagens de diferentes épocas, imagens obtidas por sensores diferentes e principalmente pela qualidade do Modelo Digital de Elevação (MDT), pois os dados para a retificação das imagens provêm da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e sua resolução espacial para todo o planeta, exceto USA, é de aproximadamente 90 metros, e precisão altimétrica de 16 metros.

Ribas (2011) comenta ainda que com base em comparações, verificou-se que o *Google Earth* permite a geração de produtos cartográficos na escala 1:25.000 e maiores, demonstrando ser uma ferramenta muito eficaz como base de apoio para planejamento e tomada de decisões, mas tem seu uso limitado para projetos de engenharia e atualizações cadastrais. Deve-se observar a época da captura da imagem, uma vez que os critérios de disponibilização dessas imagens não obedecem a uma ordem lógica.

Também é muito importante que o usuário saiba das restrições de uso dos produtos *Google Earth*. Sua política de privacidade, direitos de

propriedade e condições de uso, os quais estão contidos no contrato no momento de se fazer o *download*, conforme o item 1 descreve:

O *software* é disponibilizado somente para uso pessoal, sem finalidade comercial. Não é permitido utilizar o *software*, as informações geográficas disponibilizadas para visualização pelo Software ou qualquer cópia impressa ou captura de tela gerada pelo *software* em qualquer ambiente comercial ou para qualquer finalidade comercial, em benefício próprio ou de terceiros. ([HTTP://earth.google.com/intl/pt/download-earth.html](http://earth.google.com/intl/pt/download-earth.html) - acesso em 11/03/2013).

Conforme Pérez (2011), o *Google Earth* está ligado ao módulo editor de *waypoint* e integrado no *software mdCockpit*⁴. As informações obtidas através do *Google Earth* são planimétricas, porém este *software* pode ser usado para terrenos montanhosos, mas deve levar em conta a diferença entre altitudes no plano de voo.

2.3 PLANEJAMENTOS DE VOO

Segundo Marquetti e Garcia (1978), os elementos básicos para um plano de voo são: altura de voo acima do plano de referência, distância entre sucessivas exposições e distância entre linhas de voo. Para uma dada altura de voo, um largo ângulo de cobertura ou uma pequena distância focal permitiria aumentar a distância entre as exposições. Aumentando-se a distância focal e a altura de voo consegue-se um decréscimo considerável na variação da escala. Duplicando-se o tamanho da distância focal (*f*), deve-se quadruplicar o número de fotografias requeridas para recobrir uma dada área. A altura de voo, para o recobrimento fotográfico de uma área, não deve ser inferior a 3.000 m. Isso porque, abaixo dessa altura, as perturbações atmosféricas são bem maiores. Quanto maior a altitude, menores serão as perturbações atmosféricas.

⁴ Aplicativo computacional desenvolvido pela Microdrone que permite acessibilidade a todas as funções do drone, por meio de uma interface que comporta programar rotas de voo, receber sinal de telemetria diretamente do drone, mostrar e analisar as rotas armazenadas no cartão de voo.

2.4 GEOTAGGING DAS COORDENADAS DAS FOTOS.

O processo de inserção dos metadados⁵, coordenadas geográficas, de onde uma imagem foi obtida, é baseado no sincronismo de horário entre o relógio do GPS do sistema de navegação e o horário do relógio da câmera; um *software* específico faz os devidos ajustes.

Inicialmente a *geotagging*⁶ era feita através de um meticuloso confronto de metadados extraídos manualmente das fotografias de uma câmera digital com as coordenadas obtidas simultaneamente por dispositivos receptores externos de GPS. Hoje, este processo é facilitado por câmeras que trazem incorporados dispositivos de recepção de GPS. (QUOOS, 2011).

2.5 CÂMARAS NÃO MÉTRICAS

A obtenção de fotografias e imagens através de voo fotogramétrico e sensores espaciais possuem um custo inviável quando se deseja realizar uma análise temática de uma pequena área isolada. Informações obtidas desde aeronaves com sensores de pequeno formato (35mm), têm sido utilizadas com muito sucesso para a captura de informações do meio ambiente (CUNHA; BULLA; HARTMANN, 2009).

Pérez (2011), em seu trabalho de calibração de uma câmera digital, cita que para a calibração de uma câmera, é necessária uma determinação precisa dos parâmetros de orientação interior, e que para resultados mais precisos de calibração, as amostras de imagens devem ser tomadas sob condições semelhantes ao campo, ou seja, sob as condições de trabalho, como deverá ser encontrada nos projetos fotogramétricos de UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*).

Os conhecimentos do tamanho do sensor de imagem e da distância focal da lente da câmera digital são de fundamental importância por determinarem diversos parâmetros do recobrimento fotogramétrico. O tamanho do sensor definirá a área no terreno abrangida pela fotografia aérea individual, enquanto que a distância focal, em função da escala fotográfica desejada, determinará a altura de voo da aeronave (DISPERATI; AMARAL, 2007).

⁵ Os metadados a que esta pesquisa se refere são os registros de informações adicionais ocultas nas fotografias.

⁶ Processo de adicionar metadados de identificação geográfica para diversos meios de comunicação.

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

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

2.6 PLATAFORMAS AÉREAS NÃO TRIPULADAS EM ATIVIDADE

Para Grenzdörffer (2009), aplicações de sensoriamento remoto para agricultura e silvicultura, muitas vezes exigem imagens com alta resolução temporal, e isso é difícil ou caro de se obter, por meio de imagens de satélite ou por aeronaves convencionais. Portanto, aviões não tripulados equipados com GPS e câmeras digitais, os chamados VANTs tornaram-se um foco de investigação. A navegação autônoma desses veículos é realizada usando GPS por tecnologia inercial de medição e utilização de outros sensores. Somente os VANTs programáveis permitem trabalho fotogramétrico confiável de forma sistemática e eficiente mapeamento de áreas de interesse.

Conforme Jensen (2009), desde os anos de 1980, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DOD) vem investindo bilhões de dólares no desenvolvimento de Veículos Aéreos Não Tripulados para atender aos requisitos de missões específicas táticas ou daquelas que precisem de grande autonomia de voo para reconhecimento ou vigilância. As tecnologias de voo autônomo estão cada vez mais presentes em VANTs e os aplicativos computacionais executam o trabalho de rotina mental que os pilotos realizavam.

Para Eisenbeiss (2009), os VANTs, especialmente os de baixo custo, por possuírem limite de carga útil, muitas vezes são equipados com sensores de baixo peso, de formato pequeno ou médio e com câmeras amadoras. Portanto, em comparação as câmeras de grande

formato, os VANTs têm de adquirir um maior número de imagens a fim de obter a mesma cobertura e resolução. Além disso, sensores de baixo custo, normalmente, são menos estáveis do que os sensores de alta tecnologia, o que resulta em uma qualidade de imagem reduzida. Portanto, essas limitações de carga exigem o uso de unidades de baixo peso de navegação, o que implica em resultados menos precisos para a orientação dos sensores. Além disso, os VANTs de baixo custo são normalmente equipados com motores menos potentes, o que limita a altura alcançável. O Quadro 1, apresenta um comparativo de algumas características da fotogrametria aérea, fotogrametria terrestre e VANTs.

Quadro 1 – Características da Fotogrametria

Atividade/ Parâmetros	Fotogrametria		
	Aérea	Terrestre	VANT
Planejamento	Semiautomático	Manual	Automático/ Manual.
Aquisição de dados	Assistido e manual	Autônomo assistido e manual	Autônomo assistido e manual
Extensão da área	Km ²	mm ² – m ²	m ² – Km ²
Resolução da imagem/GSD	cm – m	mm – dm	mm – m
Distância do objeto	100 m – 10 Km	cm – 300m	m – Km
Orientação	Normal e oblíqua	Normal e oblíqua	Normal e oblíqua
Precisão absoluta dos valores de orientação inicial	cm – dm	mm – m	cm – 10m
Tamanho dos blocos de número de varreduras	10 – 1000	1 – 500	1 – 1000
Aplicações especiais (exemplos) e características	Escala em grandes áreas (mapeamento, florestas, glaciologia, modelagem 3D de construções)	Objetos e áreas em pequena escala (arqueologia, modelagem 3D de edificações)	Áreas em pequenas e grandes escalas (documentação arqueológica monitoramento de perigos, modelagem 3D de construções e objetos)
		Fotogrametria arquitetural e industrial	Aplicações em áreas inacessíveis e perigosas
	Visão aérea	Visão terrestre	Visão aérea
			Aplicação em tempo real (monitoramento)

Fonte: Einsebeiss (2009).

Einsebeiss (2009) coloca ainda que os VANTs são veículos aéreos não tripulados, motorizados e reutilizáveis que podem voar autonomamente, semi autonomamente ou manualmente, conduzidos por um piloto, a partir do solo, usando um controle remoto. De modo geral, na literatura, são encontrados os termos Veículos Aéreos Não Tripulados e Sistemas de Aeronaves Não Tripuladas como sinônimos.

No Brasil, os VANTs denominados também como Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP), Hermes 450, pertencente à Força Aérea Brasileira (FAB), estão em fase final de testes no esquadrão Hórus (1º/12º GAV), sediados na Base Aérea de Santa Maria (BASM), em Santa Maria – RS. Essas aeronaves deverão cumprir missões de busca, controle aéreo avançado e reconhecimento (FAB, 2011).

2.6.1 Balões

Para baixas altitudes e no limite da visão do operador, o balão pode ser operado com muita segurança e apresenta as seguintes vantagens: é livre de vibração do motor, apresenta baixo custo na exploração, facilidade de manuseio e montagem, baixo custo de manutenção, é relativamente seguro, podendo ser operado em áreas povoadas, é de fácil deslocamento dentro de seu raio de ação. O balão pode ser também adaptado ao tamanho e massa dos instrumentos que precisam ser transportados.

Para Everaerts (2008), por serem sistemas de baixa altitude entre 150 a 200 m, voam abaixo do tráfego aéreo. Eles podem ser operados com facilidade, mas normalmente só à vista do piloto. Isso limita a área que podem cobrir em uma única missão. Por outro lado, eles podem ser trazidos para a área de pesquisa de carro ou caminhão. Esses sistemas são muito atraentes para grupos de pesquisa envolvidos no projeto de instrumentos e temáticas de investigação, porque oferecem baixo custo e são flexíveis para a aquisição de dados.

Eisenbeiss (2009) cita diversas tentativas de obtenção de imagens aéreas por balões, algumas bem sucedidas, outras, nem tanto, pois não atingiram seus objetivos. De qualquer modo, fica claro pelas exposições que o balanço provocado pelo vento e a limitação de altura restringem muito o tipo de utilização.

2.6.2 Paramotores

Conforme Eisenbeiss (2009), os paramotores são sistemas de baixo custo e configuram-se como um parapente motorizado,

destacando-se de outros VANTs, devido à sua autonomia de até 03 horas. Esse sistema é usado em projetos de controle ambiental na Pomerânia (Alemanha). Os paramotores podem ser equipados com acessórios como GPS, câmera de vídeo, que permitem a transmissão da posição atual e do sinal de vídeo *online* através do *link* de rádio. Pode também ser controlado manualmente ou programado.

Os parapentes motorizados, também denominados de paramotores, são uma alternativa para aplicações individuais. O sistema Susi, da Universidade de Bonn (Alemanha), é controlado manualmente e impulsionado por um motor de 4,1 Kw de 2 tempos. O peso do sistema varia entre 8 e 12 kg, pois até 5 kg de carga útil pode ser conectada ao equipamento. A estrutura é montada em um parapente, que funciona como uma asa. Portanto, um voo lento e estável é garantido e fornece alta segurança, em caso de uma falha do motor, pois irá planar até o pouso. A plataforma também permite a montagem de sensores diferentes. O campo de visão é transmitido para o operador e pode ser visto em óculos especiais ou telas de vídeos e *laptops*. Embora a aquisição da imagem seja acionada via controle remoto, a posição é determinada por um equipamento de GPS de baixo custo e transmitida ao operador. O voo é restrito para velocidade de vento menor que 6 m/s. A altura máxima de voo é de 4.500 metros e alcança uma distância de operação de até cinco quilômetros. Para a descolagem e aterragem, necessita de uma pista com um comprimento entre 5 e 25m. (THAMM; JUDEX, 2006).

Yamauchi & Rudakevych (2004), em um projeto denominado Griffon, utilizou-se um Paramotor RC para transportar um robô, também RC. Nesse projeto, foi avaliada, principalmente, a sustentação em voo, capacidade do motor, estabilidade e as características dos servos de controle com essa carga, obtendo resultados satisfatórios em todos os quesitos e sugerindo, para outro projeto, controle de vídeo em tempo real, capacidade de navegação autônoma de voo, usando os *waypoints*⁷ do GPS, lançamento e capacidades de pouso semiautônomo.

Kuhnert (2010), em uma de suas pesquisas, utilizou diferentes veículos (AMOR, PSIQUE e DORIS), operados de forma flexível para cobrir uma vasta gama de aplicações possíveis para um modelo de ambiente 3D. Um mapa completo permitiu navegar de forma autônoma em terrenos complexos durante o manuseio dos objetos presentes de forma adequada. Na pesquisa, ele fez uma combinação de veículos

⁷ Pontos de passagem cujas coordenadas identificam pontos de interesse no espaço físico.

terrestres e aéreos para executar as tarefas, foi uma aplicação de cooperação de solo-ar na área da robótica. O robô aéreo foi utilizado para a aquisição de imagens de vídeo ao vivo, as quais o robô de terra usou para realizar um registro com ortofotos georreferenciadas a partir de um banco de dados geográfico.

2.6.3 Aviões

O projeto ARARA (Aeronaves de Reconhecimento Assistidas por Rádio e Autônomas) está centrado no desenvolvimento e uso de VANTs, de escala reduzida, para monitoramento aéreo. O principal objetivo do projeto é a substituição de aeronaves convencionais utilizadas na obtenção de fotografias aéreas, para monitoramento de áreas agrícolas e áreas sujeitas a problemas ambientais, por VANTs de pequeno porte que realizam missões pré-estabelecidas pelos usuários. O projeto ARARA está sendo desenvolvida no Laboratório de Computação de Desempenho do Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – USP, em São Carlos, em cooperação com a EMBRAPA-Instrumentação Agropecuária, São Carlos SP (JORGE, 2002).

Conforme Eisenbeiss (2009) afirma, a empresa Mavionics desenvolveu uma aeronave com asa fixa rádiocontrolada (RC) que permite o voo autônomo em diferentes campos de aplicações civis. O sistema Carolo T200 é um modelo padrão, que possui piloto automático desenvolvido pela Mavionics GmbH, *software* de Controle de Missão (MCS) e um controle remoto para as manobras manuais. A carga padrão é uma câmera fotográfica Canon Powershot S60 e mais alguns componentes técnicos que, ao todo, pesam 1 Kg . O MCS apresenta um mapa georreferenciado, onde as linhas de voo são definidas pelo ponto inicial e final. A curva de uma linha para outra, é feita em um raio constante, enquanto o raio mínimo é limitado a 30° no ângulo de rolamento da MCS, a fim de evitar uma instabilidade do sistema. Após a decolagem manual, o sistema muda para o modo autônomo enquanto o avião se aproxima do primeiro ponto. Após a missão, o piloto assume o controle em terra.

2.6.4 Helicópteros

Para Everaerts (2008), helicópteros não tripulados existem em vários tipos e tamanhos. No Japão, por exemplo, centenas deles são utilizados na agricultura, como plataformas para semear e pulverizar. Lá, esses sistemas são considerados parte integrante de equipamentos

agrícolas, sendo catalogados como "arados voadores". Esses helicópteros foram equipados com instrumentos de imagem para monitorar o crescimento das plantas, detectarem doenças e *stress* da vegetação, devido à escassez de água. No Brasil o helicóptero era utilizado pela EMBRAPA no projeto ARARA I (JORGE, 2002).

2.6.5 Quadrotores

Com os avanços da engenharia de controle e ciência dos materiais, foi possível desenvolver pequenos VANTs quadrotores, também conhecidos como *microdrones*, que podem ser equipados com câmeras e outros sensores, e operados por uma estação de controle no solo. São veículos originalmente desenvolvidos para fins militares, que passaram a ser utilizados em aplicações civis. Dessas aplicações, destacam-se a obtenção de imagens aéreas convencionais, em tempo real, infravermelho e modelos estereoscópicos para fotogrametria. (QUARITSCH et al., 2008).

Para Meister (2007), se um VANT é capaz de voar automaticamente em uma trajetória predefinida, a gama de aplicações possíveis é ampliada de forma significativa. Em seu artigo, o pesquisador aborda o desenvolvimento da integração dos sistemas de navegação GPS / INS / MAG e um navegador *waypoint* para decolagem e pouso vertical (VTOL), para um helicóptero com quatro rotores não tripulados e com peso de decolagem inferior a 1 kg.

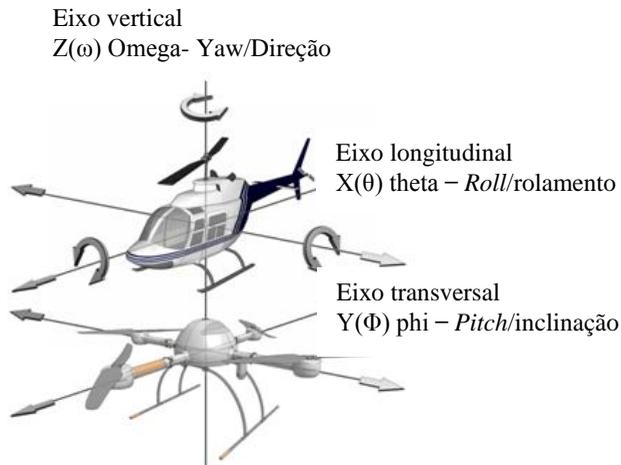
Eisenbeiss (2009) relata que logo após completar a aquisição de dados, as imagens obtidas pelo VANT foram "costuradas" para uma visão panorâmica, dando uma visão geral da área em estudo. Usando as imagens não retificadas, concluiu que já era possível identificar a estrutura principal e até mesmo reconhecer características que não eram visíveis a partir do solo.

Quaritsch et al. (2008) salientam também que os quadrotores destacam-se devido à simplicidade mecânica e às facilidades de execução de manobras de voo, tornando-se um campo de interesse de muitas pesquisas. O alto grau de liberdade permitido ao voo pode ser explorado de forma a obter informações que até então não eram possíveis, pois incorporam tecnologias que permitem decolagem vertical, voo pairado, facilidade de aterrissagem em pouco espaço, sensores inerciais e de presença de obstáculos. Permitem, além disso, obter uma ampla visão do meio ambiente, sendo útil em muitas aplicações, como monitoramento ambiental, vigilância e gestão de desastres.

2.6.5.1 Analogias entre quadrotoros e helicópteros

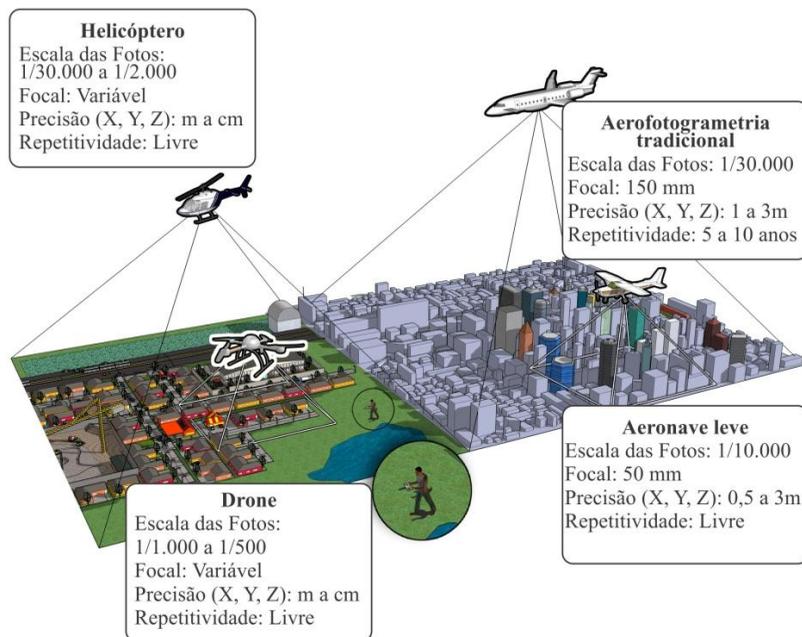
Os helicópteros possuem três movimentos que os diferenciam dos aviões: voar para trás, girar no ar em seu eixo vertical e pairar no ar mantendo a mesma posição, que é sua característica mais importante. Essa liberdade extra e a habilidade necessária para dominá-la fazem os helicópteros instigantes e complexos. Todas essas manobras são impossíveis de fazer com um avião convencional, pois ele normalmente precisa voar para frente para gerar sustentação. O quadrotor analisado nesta pesquisa tem as mesmas características que os helicópteros, com o diferencial de o conjunto todo ser mais simples de funcionar e operar. Os comandos básicos do controle do helicóptero que passam a ser análogos ao *drone* são: Sustentação (*Lift*), Direção (*Yaw*), Inclinação (*Pitch*), Rolamento (*Roll*). A Figura 3 faz uma analogia dos movimentos do quadrotor com os movimentos de um helicóptero.

Figura 3 – Analogias entre os movimentos do helicóptero e o *drone*/quadrotor em seus eixos de voo



A Figura 4 apresenta uma comparação da área de abrangência, altura de voo, escala precisão, distância focal e repetitividade que algumas plataformas aéreas possuem na obtenção de imagens.

Figura 4 – Comparação entre algumas plataformas aéreas de captação de imagens



Fonte: Eisenbeiss (2009), adaptado pelo autor

2.6.5.2 Princípio de funcionamento dos quadrotoros

A posição absoluta do quadrotor é descrita por três coordenadas (x, y, z) do centro de massa em relação ao plano de referência terra. Sua atitude absoluta é descrita por três ângulos de Euler de (ω, θ, Φ) . Estes três ângulos são chamados respectivamente ângulo de guinada $(-\pi \leq \omega < \pi)$, ângulo de inclinação $(-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2})$ e ângulo de rolagem $(-\frac{\pi}{2} < \Phi < \frac{\pi}{2})$ estes ângulos permitem os movimentos do quadrotor não considerando a execução de acrobacias. É possível usar os ângulos de Euler nos limites dados (COSTA, 2008).

O quadrotor é controlado pelo método de impulso diferencial e torque, que foi desenvolvido para o modelo conversor de ventos. Os motores são dispostos em pares de contrarotação, de modo que, nominalmente, o torque de reação gerada a partir do primeiro par de motores é exatamente o oposto da reação de torque a partir do segundo par de motores, que estão girando no sentido oposto. Com torques equilibrados, não há momento rotação e o corpo não guina em torno do eixo vertical. Essa situação é retratada na Figura 5, em que, se o impulso

para cada motor for igual a um quarto do peso veículo, o quadrotor manterá teoricamente um voo pairado. As setas desenhadas em torno dos motores indicam a intensidade da velocidade e a direção de rotação.

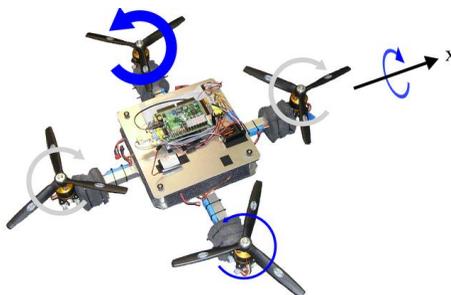
Figura 5 – Pressão equilibrada, resultando em uma plataforma pairando



Fonte: Stepaniak, (2008)

A Figura 6 ilustra a aplicação do impulso diferencial. As setas escuras indicam os dois motores que mudaram a velocidade. Com o impulso diferencial aplicada dentro de um par de rotores opostos, não há mudança na pressão total. O torque sobre o eixo vertical continua a ser zero, pois, com a diminuição do torque de um motor esse se tornou mais lento equilibrado pelo aumento do torque do outro uma vez que ambos estão girando na mesma direção. A diferença do impulso entre os dois motores vai levar a um momento. A altitude é controlada através do aumento ou diminuição da rotação do montante total, lembrando sempre que as mudanças de impulso em motores isolados não alteram o torque total sobre o corpo que permanece zero. Nas Figuras 6 a 8, a frente do veículo é apontando para a direita. Na Figura 6, o momento é sobre o eixo x positivo, como indicado, e o veículo irá rolar para a direita. Invertendo o sinal do impulso diferencial, faria com que o veículo rolasse para a esquerda.

Figura 6 – Momento sobre o eixo x, Impulso diferencial resultando um rolamento



Fonte: Stepaniak, (2008)

A maior seta indica um motor mais rápido, o que corresponde a um aumento de impulso e torque. Da mesma forma, um impulso diferencial aplicado ao outro par de motores resultaria uma arfagem para cima como mostrado na Figura 7, ou para baixo, pela inversão de sinal.

Figura 7 – Momento sobre o eixo y, impulso diferencial resultando uma arfagem



Fonte: Stepaniak (2008).

Quando um impulso diferencial causa no quadrotor arfagem ou rolamento, o vetor de empuxo total está inclinado fora da vertical. Como resultado, parte do vetor elevador é dividida em plano horizontal causando uma aceleração translacional. Por exemplo, na Figura 7, o quadrotor irá rolar para a direita, este inclina o vetor elevador para a direita e provoca uma aceleração nessa direção. Com o vetor elevador inclinado fora da vertical, há também uma correspondente perda de altitude, como a quantidade de empuxo é dirigida verticalmente, a oposição à gravidade, é reduzida. Na prática, porém, com pequenos ângulos de rotação, a mudança é mínima e pouco notada pelo piloto.

Mudanças extremas nos ângulos de rolamento e arfagem, no entanto, fariam com que a plataforma perdesse altitude de forma rápida. A mudança de azimute é comandada pela aplicação de um torque diferencial para dois pares dos rotores, como mostrado na Figura 8. Uma vez que o impulso total permanece constante, não há mudança de altitude, mas o desequilíbrio de torque causa no corpo uma guinada sobre o eixo vertical, ou eixo z.

Figura 8 –Torque diferencial resultando em um movimento de guinada



Fonte: Stepaniak (2008).

As quatro operações: o impulso equilibrado, pressão diferencial sobre o eixo de rolamento, *Roll* (X), pressão diferencial em torno do eixo de arfagem, *Pitch* (Y) e torque diferencial, *Yaw* (Z), representado nas Figuras 5 a 8 são as únicas formas de controlar o quadrotor.

O núcleo do sistema de navegação é composto de sensores inerciais de baixo custo, que são continuamente ajudados pelo GPS, bússola magnética e informações da altura barométrica. Devido ao fato de o ângulo de incidência tornar-se inobservável durante o voo pairando, a integração com uma bússola magnética é obrigatória. Essa integração deve ser rigorosa em relação a erros causados pelo desvio do campo magnético terrestre e interferências em torno de dispositivos eletrônicos, bem como metais ferrosos.

Conforme o manual do usuário do *md4-200*, o conceito de integração definido com um filtro de Kalman supera o problema de erros acumulados de medidas magnéticas para erros de atitude no eixo do rolamento e arfagem. O algoritmo fornece informações de navegação estável em longo período, mesmo durante interrupções do GPS, que é obrigatória para o controle de voo do VANT. Também discute os algoritmos de orientação, pois estes permitem ao VANT operar no modo

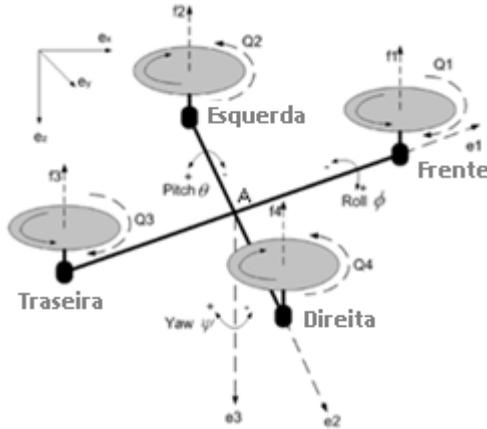
de posição semiautônomo bem como no modo de completa autonomia, modo *waypoint*. No modo semiautônomo a posição do aparelho é mantida independentemente de distúrbios do vento; essa posição facilita o trabalho do piloto durante as missões de manter e olhar. O navegador autônomo de *waypoint* permite o voo fora do alcance da visão e para além do alcance do link de rádio.

2.6.5.3 Modelo matemático

Conforme Tayebi e McGilvray (2006), a aeronave quadrotor consiste de uma rígida estrutura cruzada, equipada com quatro rotores, como mostrado na Figura 9. O movimento para cima / baixo é conseguido através do aumento / redução de potência total, mantendo a potência individual igual. Movimentos para frente / atrás, direita / esquerda e os movimentos de guinada são atingidos através de uma estratégia de controle diferencial de potência gerado por cada rotor. A fim de evitar o desvio de guinada, devido a torques reativos, a aeronave quadrotor é configurada de modo que a conjunto de rotores (direita/esquerda) gira no sentido horário e um conjunto de rotores (de frente para trás) gira em sentido anti-horário.

Se o movimento de guinada é desejado, é preciso reduzir a rotação de um conjunto de rotores e aumentar a rotação do outro, mantendo a mesma potência total para evitar um movimento de subida ou descida. Assim, o movimento de guinada é realizado na direção do torque induzido reativo. Por outro lado, para frente (para trás) o movimento é realizado pela arfagem no sentido desejado, aumentando a potência do rotor traseiro (frente) e diminuindo potência do rotor da frente (trás) de impulso para manter a pressão total. Finalmente, um movimento lateral é conseguido através de rolamento no sentido desejado, aumentando a potência esquerda (direita) do rotor e diminuindo a direita (esquerda) de impulso do rotor para manter o impulso total. Considerar $\tau = \{e_x, e_y, e_z\}$ como uma estrutura referencial inercial e $A = \{e_1, e_2, e_3\}$ como uma estrutura rígida ligada à aeronave, como mostrado na Figura 9.

Figura 9 –Esquema de um quadrotor



Fonte: Tayebi e McGillvray (2006), adaptada pelo autor

O modelo matemático completo está descrito em Hamel et al. (2002). Ignorando os efeitos aerodinâmicos (realizados em bancada de testes), com uma ligeira modificação da expressão de torques giroscópica devido ao fato de que o par de rotores 1-3 girar na direção oposta do par 2-4, o modelo matemático é dado por:

$$\xi' = v \quad (1)$$

$$v' = g e_z - \frac{1}{m} T R e_z \quad (2)$$

$$R' = R S(\Omega) \quad (3)$$

$$I_f \Omega' = -\Omega \in I_f \Omega - G_a + \tau_a \quad (4)$$

$$I_r \omega'_i = \tau_i - Q_i, \quad i \in \{1, 2, 3, 4\} \quad (5)$$

onde: m denota a massa da estrutura, g representa a aceleração da gravidade, $e_z = (0, 0, 1)^T$ indica o vetor unitário da estrutura τ , o vetor $\xi = (x, y, z)^T$ indica a posição da origem da armação fixa A em relação ao referencial inercial τ , o vetor $v = (v_x, v_y, v_z)^T$ representa a velocidade linear da origem do A expressada por τ , Ω indica a velocidade angular da estrutura expressada na armação fixa A . A orientação da estrutura é dada pela rotação ortogonal da matriz $R \in SO(3)$ dependente dos três ângulos de Euler ϕ , θ , e ψ , denotando respectivamente os movimentos de, *roll*, *pitch* e *yaw*. $I_f \in R^{3 \times 3}$ é uma matriz simétrica positiva definida como uma constante de inércia da estrutura do avião em relação à

estrutura A cuja origem é o centro de massa. A velocidade e o momento de inércia do rotor i é dado, respectivamente por ω_i e I_r . A matriz $S(\Omega)$ é uma matriz simétrica de inclinação tal que $S(\Omega)V = \Omega \times V$ para qualquer vetor V , onde denota o produto cruzado do vetor $V \in \mathbb{R}^3$. O torque reativo gerado, ao ar livre, pelo rotor i , devido ao atrito do rotor é dada por

$$Q_i = K\omega_i^2 \quad (6)$$

e do esforço total gerada pelos quatro rotores é dada por

$$T = \sum_{i=1}^4 |f_i| = b \sum_{i=1}^4 \omega_i^2 \quad (7)$$

onde $f_i = -b\omega_i^2 e_3$ é a sustentação gerada pelo rotor i livre no ar (expressos em A), e $k > 0$, $b > 0$, são dois parâmetros dependentes da densidade do ar. O vetor G_a contém os momentos de torção giroscópica devido à combinação da rotação da estrutura do avião e os quatro rotores, e é dada por

$$G_a = \sum_{i=1}^4 I_r (\Omega \times e_i)(-1)^{i+1} \omega_i \quad (8)$$

As torções geradas pelos rotores na estrutura são dadas por:

$\tau_a = (\tau_a^1, \tau_a^2, \tau_a^3)^T$, com:

$$\begin{aligned} \tau_a^1 &= db(\omega_2^2 - \omega_4^2) \\ \tau_a^2 &= db(\omega_1^2 - \omega_3^2) \\ \tau_a^3 &= K(\omega_1^2 + \omega_3^2 - \omega_2^2 - \omega_4^2) \end{aligned} \quad (9)$$

em que d representa a distância do rotor ao centro de massa da estrutura do quadrotor. As quatro entradas de controle do sistema são τ_i , $i \in \{1, 2, 3, 4\}$, que representam os torques produzidos pelos rotores.

O tamanho, forma e ângulo de inclinação das lâminas, assim como outros fatores inerentes ao funcionamento do sistema, podem ser encontrados em detalhes em Tayebi e Mcgilvray (2006).

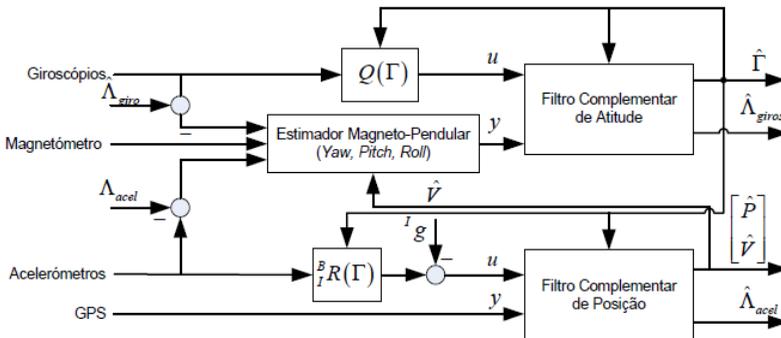
2.6.5.4 Sistemas de Automação Dinâmica

Uma Unidade de Medição Inercial (IMU) é um dispositivo eletrônico que mede e relata em um equipamento a velocidade, orientação, e as forças gravitacionais, usando uma combinação de sensores. A IMU é o coração do sistema eletrônico do *drone*, é onde

ocorre o controle de posição com o controle de altitude barométrica. Uma combinação de vários sensores intercomunicantes se funde em um filtro de Kalman. Os microcontroladores processam os dados e os enviam aos motores.

Segundo Campos (2010), um veículo aéreo voa com velocidade constante e possuem rigidamente instalados em seu corpo três girômetros⁸ e três acelerômetros⁹ (*strapdown*), cuja acurácia é típica de sensores disponíveis comercialmente para aplicações aeroespaciais, os quais se encontram alinhados com o sistema de coordenadas fixo ao corpo. A Figura 10 apresenta a integração dos principais sensores que compõem uma IMU responsável para fornecer de maneira conjunta uma estimativa completa da atitude em voo em relação a um sistema de coordenadas conhecido.

Figura 10 – Integração dos principais sensores



Fonte: Caldeira e Baltazar (2004)

2.6.5.5 Vantagens e desvantagens entre os VANTs de asa fixa e de asas rotativas

Conforme Stepaniak (2008), os VANTs de asas rotativas apresentam vantagens consideráveis sobre o avião de asa fixa para a mesma aplicação. Primeiro, um helicóptero não é obrigado a manter uma velocidade para frente para se sustentar no voo, e uma mudança de posição pode ser realizada, em áreas congestionadas que não pode ser

⁸ Aparelho que indica variações de direção.

⁹ Instrumento capaz de medir e calcular a força e aceleração sobre objetos.

realizada pelo raio de curva de um avião. Além disso, a capacidade de pairar sobre uma localização permite que o Radar Laser (LADAR), ou outros sensores, serem treinados em um alvo de vigilância, detecção de mudanças e navegação.

Uma desvantagem do helicóptero tradicional é a sua complexidade mecânica, pois um complexo articulado no rotor central é necessário para que, simultaneamente, permita torque e variação no elevador. Além de um único rotor para o elevador, helicópteros tradicionais tipicamente empregam um rotor vertical na cauda para compensar o torque de reação na fuselagem causada pelo rotor principal. Ligado à caixa de velocidades do rotor principal, o rotor de cauda introduz uma complexidade adicional, porque a cauda se estende para além do disco do rotor, aumenta a área necessária para operação segura.

O projeto quadrotor supera essas questões sem comprometer as vantagens de uma aeronave de asa rotativa. Um par de rotores de contrarotação equilibra o torque, sem a necessidade de um rotor de cauda. O conjunto de carga permite que os quatro rotores com pequenos eixos e finas lâminas de pás de hélices, de passo fixo, substituam o eixo central articulado do helicóptero de rotor simples, com passo variável. Esses efeitos acontecem com mais frequência e mais rapidamente do que nos helicópteros tradicionais. Isso ocorre porque o centro de gravidade do veículo é ligeiramente inferior ao das hélices. Portanto “sensores piezelétricos”¹⁰ são utilizados para determinar a velocidade de rotação das hélices. Alternativamente, giroscópios podem ser usados para determinar a orientação do dispositivo. Um sistema embutido que recebe informações desses sensores controla a velocidade dos quatro motores elétricos para estabilizar o voo. A segurança do conjunto pode ser reforçada com um escudo protetor ao redor dos discos do rotor.

Outra vantagem, no quadrotor, é que o impulso é único, usado para compensar o peso, e não para contrariar o torque, porque os sistemas de giro dos quatro rotores eliminam o efeito giroscópio do conjunto, assim o empuxo é totalmente utilizado para transportar a carga.

2.6.5.6 VANT quadrotor *md4-1000*

Conforme o manual de operação do VANT *md4-1000*, este é equipado com um sistema abrangente de “caixa preta” (cartão SD) que

¹⁰ Sensores que possuem capacidade de gerar corrente elétrica por cristais em resposta a uma pressão mecânica

registra cada movimento de comandos de controle de voo e de posição. O princípio é o mesmo usado na aviação comercial para permitir a análise altamente detalhada do sistema. O cartão SD de bordo permite que o *md-4000* grave muito mais dados do que se vê normalmente na tela do *mdCockpit* durante o voo, registra centenas de pacotes de dados diferentes a cada segundo. Todos esses dados podem então ser carregados em um programa da Microdrone chamado "SD-card", que grava dados de voo. Tal programa permite que o operador recarregue voos anteriores, a fim de analisá-los em detalhes. Todos os dados são então convertidos em gráficos e texto para análise.

O Auto *Software* de análise de dados varre cada voo realizado, e, se encontrar alguma alteração, não só vai dizer o que é como também vai criar automaticamente um *link* para exibir onde o problema está localizado. Pode-se, então, salvar o arquivo de paginação/dados e enviá-lo para órgãos competentes para análise posterior.

De modo geral, o projeto quadrotor, com quatro motores elétricos *brushless* é leve e altamente confiável. Não há equipamento ou sistema de transmissão para seu comando e nem servos auxiliares para a navegação. A velocidade de cada rotor determina o voo. Os motores elétricos de velocidade relativamente lenta garantem baixas vibrações e o sistema opera em nível de ruído muito baixo, tem um modo de voo autônomo por isso é equipado com todos os sensores necessários e de alimentação do computador para controlar o voo e realizar as missões e tarefas sem um operador humano. Também é equipado com recursos de segurança para evitar que o operador cometa erros graves, e garantir um pouso seguro no caso de haver um problema técnico. A construção do sistema, com baixo peso e peças flexíveis, torna possível a operação em locais povoados, sem perigo de prejudicar seriamente as pessoas ou infraestrutura em caso de acidente. O sistema não necessita de local de pouso e decolagem preparado e pode estar no ar em poucos minutos após a chegada ao local do voo.

Uma das vantagens mais significativas da utilização deste equipamento para esta tese refere-se ao fato deste ter incorporado em suas características preocupações pertinentes à fotogrametria tradicional, tais como estabilidade de voo por sensores inerciais e GPS, altura constante, registros das informações de toda a rota de voo, georreferenciamento de imagens e facilidade de programação do planejamento de voo.

2.6.5.7 Limitações na utilização dos VANTs

Conforme Eisenbeiss (2009), VANTs, especialmente os de baixo custo, possuem limite de carga útil, peso e dimensões dos sensores, de modo que muitas vezes o baixo peso dos sensores é determinante para a seleção de câmeras de pequeno e médio formato. Portanto, em comparação com as câmeras de grande formato, os VANTs têm que adquirir um maior número de imagens a fim de obter a mesma cobertura e resolução. Além disso, sensores de baixo custo, normalmente são menos estáveis do que os sensores de alta tecnologia, o que resulta em uma qualidade de imagem reduzida. Portanto, essas limitações de carga exigem o uso de unidades de baixo peso de navegação, o que implica resultados menos precisos para a orientação dos sensores. Além disso, os VANTs de baixo custo são normalmente equipados com motores menos potentes, o que limita a altura alcançável.

2.7 CLASSIFICAÇÕES DOS VANTS

Há uma grande variedade de formas, tamanhos, configurações e características de VANTs que originalmente chamavam-se *drones* (zangões). Os VANTs podem ser controlados de duas formas alguns a partir de um local remoto que pode ser de milhares de quilômetros de distância, em outro continente, e outros que voam de forma autônoma com base de voo pré-programados usando complexos sistemas de automação dinâmica. A maioria deles permite que pilotos possam alternar os controles manuais e autônomos conforme as conveniências.

Devido ao rápido desenvolvimento e do número cada vez maior de novos conceitos e tecnologias, tornou-se uma necessidade estabelecer certa classificação para VANTs. A Associação Europeia dos Sistemas de Veículos Aéreos Não Tripulados (EUROUVS) elaborou uma classificação desses sistemas, a qual dá uma visão geral do estado da arte, apresentada no Quadro 2 (BENTO, 2008).

Quadro 2 – Classificação de sistemas mini e micros VANTs

Categoria	Carga máxima de decolagem (Kg)	Altura máxima de voo (m)	Autonomia de voo (h)	Alcance do <i>Data Link</i> (Km)
Micro	< 5	250	< 1	<10
Mini	< 30	150 - 300	< 2	<10

Fonte: Bento (2008)

No Quadro 3, Einsebeiss (2009) classifica os VANTS em relação à sua faixa de resistência, às condições atmosféricas, à dependência do vento, manobrabilidade e carga (0: menor valor; +: valor intermediário; ++: o melhor valor)

Quadro 3 – Prós e contras dos diferentes tipos de VANTS

Tipo de VANT	Alcance	Autonomia	Resistência a condições atmosféricas e ventos	Manobrabilidade	Capacidade de carga
Balões	0	++	0	0	+
Dirigíveis	++	++	0	+	++
Pipas	+	0	0	0	0
Planadores	++	+	+	+	+
Motores a hélice à jato	++	++	+	+	++
Paramotores	++	+	0	+	+
Helicóptero tradicional	+	+	+	++	+
Helicóptero coaxial	+	++	+	++	++
Quadrotores	0	0	0	++	0
Multicópteros	+	+	+	++	+

Fonte: Einsebeiss (2009).

No Quadro 4, Einsebeiss (2009), traz uma visão geral das diferentes plataformas de sensoriamento remoto, com resolução espacial típica de seus canais multiespectrais e com os seus típicos campos de visão (FOV). Essa visão mostra a diferença na resolução atual centímetros para o nível mm que poderiam idealmente ser preenchido por miniaturas de VANTS.

Quadro 4 – Resoluções espaciais e campos de visão

Plataforma de Sensoriamento Remoto	Resolução espacial típica (m)	Típicos campos de visão (FOV) (Km)
Satélite	2 - 15	10 - 50
Aeronaves pilotadas	0,2 - 2	2 - 5
Mini VANTS	0,01 - 0,2	0,05 - 0,5

Fonte: Einsebeiss (2009).

O Quadro 5 apresenta a classificação dada pela União Europeia.

Quadro 5 – Classificação da legislação europeia para UVS (*Unmanned Vehicle Systems*) e UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*)

<i>Name</i>	<i>Classification</i>	<i>Mass (Kg)</i>	<i>Range (Km)</i>	<i>Flight Alt.(m)</i>	<i>Endurance (hour)</i>
μ	<i>Micro (μ)</i>	< 5	< 10	250	1
Mini	<i>Mini</i>	< 25/30/150 *	< 10	150/250/300*	< 2
CR	<i>Close Range</i>	25 - 150	10 - 30	3.000	2 - 4
SR	<i>Short Range</i>	50 - 250	30 - 70	3.000	3 - 6
MR	<i>Medium Range</i>	150 - 500	70 - 200	5.000	6 - 10
MRE	<i>MR Endurance</i>	500 - 1500	> 500	8.000	10 - 18
LADP	<i>Low Alt. Deep Penetration</i>	250 – 2500	> 250	50-9.000	0,5 - 1
LALE	<i>Low Alt. Long Endurance</i>	15 - 25	> 500	3.000	> 24
MALE	<i>Medium Alt. Long Endurance</i>	1.000 - 1.500	> 500	5/8.000	24 - 48
HALE	<i>High Alt. Long Endur.</i>	2.500 - 5.000	> 2.000	> 20.000	> 48
Strato	<i>Stratospheric</i>	> 2.500	> 2.000	> 20.000	> 48
EXO	<i>Exo-stratospheric</i>	TBD	TBD	> 30.500	TBD
UCAV	<i>Unmanned combat AV</i>	> 1.000	+/-15000	12.000	+/-2
LET	<i>lethal</i>	TBD	300	4.000	3 - 4
DEC	<i>Decoys</i>	150 - 500	0 - 500	50 - 5.000	< 4
*	<i>According to national legal restrictions</i>				

Fonte: Skydrones (2012)

Para Tovar (2012), os chamados mini VANTs, vão de 3 a 5 quilos e até 5 quilômetros de alcance, para reconhecimento de curta distância; os VANTs de 800 quilos e entre 15 e 20 horas de operação, para reconhecimento, vigilância e patrulha; e os VANTs estratégicos, acima de 1,5 tonelada, para missões de longa duração (mais de 20 horas).

2.8 CADASTROS TERRITORIAIS MULTIFINALITÁRIO

A Portaria nº 511, de 07 de dezembro de 2009 do Ministério das Cidades que trata das Diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) nos municípios brasileiros, no seu artigo 13, parágrafo 2º traz o seguinte texto: “Os limites físicos das parcelas podem ser obtidos por métodos topográficos,

geodésicos, fotogramétricos e outros que proporcionem precisões compatíveis”.

O Cadastro Técnico representa um vasto campo de atuação profissional, abrangendo desde tecnologias para medições do imóvel, até ao mapeamento temático que consiste de fundiário, uso do solo, geologia, planialtimétrico, solo, rede viária, rede elétrica, legislação que rege a ocupação territorial e, finalmente, economia que se pode extrair da terra. O Cadastro Técnico, para ser multifinalitário, deve atender ao maior número de usuários possíveis, o que exige que se criem produtos complexos e tecnologias que os tornem acessíveis para qualquer profissional que necessite de informações sobre propriedade. (ERBA, et al., 2005).

Para Philips (2009), um cadastro permanente e atualizado serve para proteger os investimentos. O cadastro básico tem três componentes:

1. **Informação literária:** número identificador, superfície, logradouro, uso do solo.
2. **Carta:** representação gráfica que identifica cada objeto cadastrado, seus limites, formas, composição da unidade.
3. **Arquivo:** todos os originais do levantamento são os mais importantes, os demais derivam destes.

Para Antunes (2007), cadastro é um registro público que descreve a extensão, qualidade e valor dos bens imóveis de certo território, compreendendo uma série de operações que tem por fim organizar este registro. O espaço geográfico cadastrado pode ser tanto no ambiente urbano como o rural. O cadastro pode ser definido através de um conjunto de técnicas cartográficas e de banco de dados sobre os bens imobiliários. O cadastro é o registro oficial das informações que definem a propriedade, refere-se a: área, utilização, tipo, valor, localização unívoca e direita. O registro deve apresentar o assentamento metódico destas informações, tal que possibilite a identificação da propriedade na forma mais atual. A definição precisa de uma propriedade envolve diferentes aspectos, desde a sua localização até os direitos exercidos sobre ela, portanto é um assunto de natureza multidisciplinar.

De uma forma bastante simples, o CTM, como o próprio nome diz, deve servir para vários fins. Um levantamento topográfico em que conste o parcelamento do solo urbano (os loteamentos e os terrenos deste) faz-se necessário. Portanto, o ideal é que constem as construções e outros dados referentes a elas e à população que habite o local (casa, galpão, garagem; se é de alvenaria, de madeira; se há energia elétrica, água encanada; esgoto tratado; número de moradores, renda per capita,

escolaridade etc.). Enfim, o máximo de informações que se consiga extrair da área em questão. Por último, o real intuito de um CTM; é utilizar estes dados e realizar inúmeros estudos, cruzamento de informações, propor novos projetos, apresentar soluções para os problemas existentes (LOCH e ERBA, 2007).

Erba et al. (2005) comenta que a utilização de fotos aéreas de paisagens urbanas em grande escala, como insumo para a administração municipal, é um tema de pesquisa ainda pouco explorado no Brasil e, algumas vezes, visto como um campo de atuação para as imagens de satélites de alta resolução, esperadas a partir de missões comerciais e do uso de rastreadores multiespectrais aero transportáveis (*airborne spectrographic imager*) ou mesmo de algum satélite inovador. Deve-se deixar claro que no futuro isso pode ser possível. No entanto, até o momento, ainda é utopia.

É de suma importância para tomada de decisão que haja um acompanhamento desse tipo de informação. Uma imagem de satélite de boa qualidade para poder fazer uma leitura da vegetação, solo exposto, área urbana, área livre etc., pode ser uma opção boa para dados macros sobre a área. Porém, para dados mais específicos, necessita-se ter à disposição uma imagem de boa qualidade e em uma escala que permita o nível de detalhamento desejado.

2.8.1 Cadastro temático

Segundo Erba (2005), os cadastros temáticos mais importantes que compõem o cadastro técnico urbano são:

a) **Cadastro da rede viária urbana:** a rede viária urbana tem uma importância fundamental dentro da cidade, o que proporciona facilidade no escoamento do tráfego, além de preservar a sua estética. A rede viária é um dos fatores que mais pesam na avaliação de uma cidade quanto ao planejamento, uma vez que ela deve prever o aumento demográfico, aumento do fluxo de carros e a facilidade de saídas (ligação com outras cidades ou mesmo com outras regiões do interior).

b) **Cadastro da rede de drenagem:** a rede de drenagem, como é um recurso natural que vem sendo agredido constantemente pela ocupação desordenada, deve merecer um cuidado especial pelos projetos de cadastro, pois se trata de um tema com características lineares, que permitem uma série de correlações de posição e localização, elementos de vital importância para qualquer projeto de planejamento urbano.

c) **Cadastro imobiliário:** o cadastro imobiliário urbano deve avaliar inicialmente os princípios ou leis vigentes no país ou estado quanto ao parcelamento e ocupação do solo urbano. A área de uma parcela imobiliária deve ser compatível com a área mínima permitida por lei. Após a definição precisa do perímetro, é necessário analisar se o percentual da área apresenta edificações, além de o posicionamento estar de acordo com o projeto aprovado na prefeitura. Esse cadastro imobiliário é a base para a estruturação da planta de valores genérica.

d) **Cadastro planialtimétrico urbano:** comparado com o cadastro planialtimétrico rural, o urbano tem importância maior, uma vez que a maioria dos serviços de infraestrutura urbana deve se ater às características do relevo local quando de sua implantação. Os mapas planialtimétricos também são importantes na demarcação das áreas de preservação permanente devido à declividade do solo.

e) **Cadastro tributário:** o cadastro tributário deve avaliar a propriedade segundo a sua ocupação, segundo o valor da terra nua, com todos os elementos implementados pelo ocupante da terra. O lote que estiver caracterizado como terreno baldio, além do imposto territorial, deveria pagar uma taxa de manutenção da área limpa, além da taxa de iluminação pública que está implícita desde o momento em que a área pertence a um loteamento, atendendo sempre aos critérios do município. A parcela imobiliária que apresentar construções, além do imposto territorial, deve pagar também o imposto predial, incluindo ainda as taxas de coleta de lixo. Os impostos territorial e predial urbano variam segundo a valorização imobiliária do local dentro da conjuntura da cidade. Portanto, deve ficar claro que o imposto não varia com a variação cambial, mas sim a infraestrutura que vai agregar valor.

f) **Cadastro de área verde e de lazer:** as cidades devem ter uma boa distribuição de áreas verdes e de lazer, respeitando ao menos o limite mínimo exigido em lei. Trata-se de um tema muito pouco valorizado nas cidades brasileiras, existindo algumas delas que são desprovidas de áreas verdes, ou mesmo de áreas de lazer; embora a Lei Federal exija que os loteamentos reservem um mínimo de 20% da área global para estes fins.

g) **Cadastro de serviços de infraestrutura:** os serviços de infraestrutura normalmente exigem um mapa em escala mais detalhado

do que os demais temas do cadastro técnico urbano. Normalmente são elaborados nas escalas 1:1.000; ao passo que os mapas com a estrutura fundiária são na escala 1:2.000 e os mapas da rede viária, áreas verdes, são executados na escala 1:10.000. Deve-se afirmar que o ideal seria que todos esses mapas estivessem em uma escala 1:1.000, o que permitiria sua correlação e confrontação com Sistemas de Informações Geográficas – SIGs. Os serviços de infraestrutura urbana normalmente podem ser representados por uma série de mapas cadastrais: mapas de rede de águas pluviais, de rede de água potável de rede de esgoto sanitário, de rede de energia elétrica e de rede de telefonia.

h) **Cadastro de glebas:** no cadastro de glebas se trata de temas que representam a espacialização das diferentes zonas urbanas; elemento de suma importância para as estruturas da planta de valores genéricas, que passa a ser a base do sistema tributário urbano de uma cidade.

2.8.2 Cadastro 3D

A Federação Internacional dos Geômetras (FIG) entende que uma parcela 3D é dependente do contexto jurídico e organizacional do país específico (província, estado). Parcelas 3D incluem espaços de terra e água, tanto acima como abaixo da superfície. Em uma definição mais formal, um pacote 3D é definido como a unidade espacial diante de direitos únicos e homogêneos (direito de propriedade ou direito de uso da terra), incumbências ou restrições são associadas à entidade como um todo, incluída no sistema de administração da terra.

Conforme Valstad (2006), mesmo que a maioria das atividades subterrâneas é marcada nos mapas municipais não há um registro central para os mapas tridimensionais e informações. Mapas atuais não mostram a posição das estruturas subterrâneas em relação à superfície ou a outras estruturas subterrâneas. Na área da cidade isso pode não ser mais suficiente, nem para os planejadores, nem os desenvolvedores. Há muito tempo que a intenção das Agências de Serviços de Planejamentos e Construções está para desenvolver um mapa tridimensional subterrâneo. Mas há obstáculos legais, políticos, financeiros e tecnológicos para uma solução que ainda ficará para o futuro.

Para Aydin et al. (2004), em todo o mundo, o uso da terra pública e livre para desenvolvimento é cada vez menor, especialmente nas áreas metropolitanas. Não há espaço para estacionamento adequado nas áreas urbanas. Apesar destas relações, as atividades urbanas visam aumentar o interesse público com as novas tecnologias. Exemplos,

telecomunicações, arranjos de tráfego, transportes, comunicações, etc. Conforme observado, a demanda por informações espaciais é mais premente em áreas urbanas, pois cada vez mais cabe tarefas de análise mais complexas em 3D a procura de dados estruturados topologicamente. A expansão das metrópoles não deixa alternativa senão, as construções de bens públicos subsuperficiais.

A falta de conhecimento sobre os objetos existentes no subsolo, na linha de construção de uma obra, pode causar sérios transtornos. Uma forma de equacionar e disponibilizar as informações acima e abaixo da superfície é através de um SIG adequado, alimentado pelos diversos órgãos interessados.

O cadastro 3D, é a informação espacial vertical do objeto, tanto acima como abaixo da superfície de uma parcela. No que tange à parte acima da superfície, a utilização do quadrotor como ferramenta na aquisição e representação de dados tridimensionais pode ser muito útil. Também pode ser um apoio considerável, visto que é grande o número de estruturas no subsolo, dutos (água, energia elétrica, fibra ótica telefone, gás, TV a cabo) estacionamentos, lojas etc., que podem ser representados a partir das informações aéreas. Neste trabalho, no Capítulo III em aplicações, são incluídas algumas disposições espaciais que podem ser exploradas e influenciarem na composição do cadastro 3D.

2.8.3 Base cartográfica cadastral

Conforme Antunes (2007), o sistema cartográfico do cadastro é composto por:

1. Planta Geral do Município (1:25.0000).
2. Planta de Referência Cadastral (1:10.000 ou 1:5.000).
3. Planta de Quadras (1:2.000 ou 1:1.000).

Os elementos mínimos que a planta ou mapa cadastral deve conter são: alinhamento das quadras; hidrografia; indicação da estrutura física do lote; vias; infraestrutura; altimetria (curvas de nível). A planta cadastral registra a situação real da quadra no contexto da área urbana do município no momento do levantamento de dados. Esta planta contém a definição dos distritos, setores, quadras numeradas, código de logradouros, códigos das faces de quadras e a nomenclaturas dos logradouros. Estas plantas, em geral, estão em escalas 1:1.000 ou 1:2.000.

Para Erba et al. (2005), a base cartográfica é uma representação que contém os “elementos planialtimétricos”¹¹ fundamentais de uma porção do território, desenhada de acordo com convenções predeterminadas e com alta precisão métrica para servir de referência a estudos, projetos e à elaboração de Cartas Temáticas. A Base Cartográfica pode ser uma planta, uma carta ou um mapa, termos estes que, muitas vezes, são considerados como sinônimos. Embora para muitos técnicos e administradores a definição acadêmica não seja muito relevante, a diferenciação semântica é importante, pois cada documento tem diferentes aplicações.

As bases cartográficas urbanas são as mais exigentes, dado que devem ter uma estrutura geométrica precisa e adequada, de modo que as parcelas possam ser visualizadas claramente. A estrutura geométrica proporcionada a qualquer sistema de informação territorial é fundamental, pois:

1. Qualquer imperfeição na determinação será percebida em longo prazo.
2. Uma determinação que proporcione uma estrutura geométrica mais precisa e exata que o necessário significará que uma parte dos recursos destinados a implantar o sistema pode ter sido desperdiçada;
3. Uma determinação que proporcione uma estrutura geométrica menos precisa que o necessário resultará também em desperdício de recursos destinados à implantação.
4. Uma aplicação deficiente de recursos pode gerar um impedimento insuperável no desenvolvimento posterior exigido pelo sistema, pois, uma vez que se adota um método, será cada vez mais difícil e caro fazer alterações.

O Sistema Cartográfico Nacional brasileiro contempla o conjunto de procedimentos que têm por finalidade a representação do espaço territorial de forma sistemática, por meio de cartas gerais, contínuas, homogêneas e articuladas, elaboradas seletiva e progressivamente em escalas padrão de 1:1.000.000, 1:500.000, 1:250.000, 1:100.000, 1:50.000 e 1:25.000. No caso, nenhuma dessas satisfaz as exigências da cartografia cadastral urbana. O Quadro 5 relaciona os documentos, suas escalas, elementos representados e usos da estrutura cartográfica municipal do Brasil.

¹¹ São os elementos que se apresentam na superfície representada na carta cartográfica, como a hidrografia, vegetação, sistema viário, solo, áreas urbanas.

Quadro 6 – Estrutura da cartografia municipal no Brasil

Documento	Escala	Elementos representantes
		Uso
Carta Geral do Município	1/10.000 a 1/5.000	Curvas de nível, hidrografia, vegetação, sistemas viários, edificações, ruas, limites jurisdicionais.
		Desenvolvimento do plano diretor municipal e definição de estratégias em todas as áreas do governo e privadas
Carta de referência cadastral	1/10.000 a 1/5.000	Somente planimetria, identificação de nomenclatura cadastral, loteamentos e zonas tributárias.
		Base para a organização do cadastro municipal
Carta de valores	1/10.000 a 1/5.000	Valores do terreno por quarteirão
		Gestão fiscal do imposto predial
Planta cadastral municipal	1/2.000 a 1/1.000	Restituições efetuadas em mapas de informações correspondentes ao uso do solo urbano
		Dar apoio ao planejamento urbano e a gestão de todas as áreas do cadastro territorial
Planta de quadra	1/1.000 a 1/500	Ruas, limites de parcelas, projeções das construções todas com nomenclatura cadastral correspondente.
		Gestão detalhada do cadastro
Planta topográfica	1/1.000 a 1/250	Ruas, limites de parcela, projeções das construções croqui de acordo com o limite da propriedade.
		Descrição da parcela para sua incorporação ao registro de imóveis

Fonte: Erba et al., (2005).

Entre os numerosos critérios que existem para classificar os documentos cartográficos, o que toma como base a escala de desenho define como planta toda representação realizada em escalas maiores a 1:25.000. Cartas aos documentos gerados em escalas que variam de 1:1.000.000 até 1:25.000, e mapas às representações em escalas inferiores a 1:1.000.000. Outra forma de classificá-los é segundo a técnica utilizada para a elaboração do documento cartográfico, considerando plantas aqueles que usam dados topográficos e cartas os gerados por fotogrametria.

Como no Brasil cada município tem autoridade para organizar seu sistema cadastral e, conseqüentemente, definir a estrutura da cartografia urbana, é comum encontrar levantamentos topográficos ou restituições fotogramétricas na escala 1:10.000 de todo o município e 1:2.000 da área urbana, além das plantas de quadra constituídas de croqui.

Conforme Erba et al. (2005), as bases podem ser elaboradas a partir de aerofotografias ou de levantamentos topográficos, de preferência com apoio de GPS.

Antunes (2007) ressalta, ainda, que o cadastro é um instrumento básico da política de desenvolvimento e planejamento da expansão

urbana do município, assim como é parte importante de um Plano Diretor; afirma que os principais problemas do cadastro urbano são:

- base cartográfica desatualizada;
- base cartográfica sem georreferência;
- falta de pessoal habilitado nas prefeituras para gerenciar as informações (Cartógrafo, Geógrafo, Arquiteto ou profissional especializado no assunto);
- falta de pessoal nas equipes de Cartografia, Cadastro e Geoprocessamento;
- imprecisão na posição dos imóveis;
- falta de integração entre o registro e o cadastro;
- falta de investimento para o levantamento cadastral e atualização cadastral.

2.9 SEGURANÇA AÉREA

A segurança aérea é um conceito subjetivo, conhecido no meio aeronáutico como segurança de voo, e é definido pela Organização de Aviação Civil Internacional (OACI) como sendo o

[...] estado no qual o risco de ferir pessoas ou causar danos em coisas se limita a, ou está mantido em ou abaixo de, um nível aceitável, através de um processo contínuo de identificação de perigos e gerenciamento de riscos. (Doc 9859/OACI).

Na aviação civil, a segurança aérea é tratada sob cinco diferentes enfoques: aeronave (em termos de projeto de produto, de processo de fabricação e de manutenção), pessoal (pilotos, comissários de voo, mecânicos, despachantes operacionais etc.), aeródromo (infraestrutura do aeroporto), operação (condições mínimas para gestão organizacional da empresa, sob o enfoque da segurança) e navegação aérea (aerovias, controle de tráfego aéreo, cartas aeronáuticas, comunicações etc.). Junta-se a esses cinco enfoques, um sexto elemento extremamente importante para o contínuo melhoramento dos índices de segurança, que é a investigação de acidentes. Este sexto elemento permite identificar deficiências e propor ações corretivas (as chamadas recomendações), para que um próximo evento semelhante não ocorra novamente.

A segurança aérea depende de uma doutrina ou filosofia de trabalho, baseado em atitude pessoal preventiva e que leva em conta três

elementos: o homem, a máquina e o meio (ambiente). Nenhum acidente aéreo ocorre devido a um único fator. Um acidente aéreo, portanto, é resultado de diversos fatores contribuintes e é subsequente a vários outros incidentes aéreos de mesma natureza, que já haviam acontecido, sem maiores consequências, e que não haviam sido tratados convenientemente através de ações corretivas.

A segurança aérea é multidisciplinar e é composta por diversas especialidades profissionais aplicadas à aviação. O objetivo principal é evitar ocorrências ou reocorrências de um incidente ou de um acidente através do estudo sistemático desses acidentes aéreos ou incidentes aéreos, com o objetivo de prevenir futuras ocorrências.

Conforme Correa (2008), embora ainda não regulamentado, é certo que os VANTs trazem a promessa de serem eficazes em um amplo espectro de características operacionais e de difícil realização com os atuais sistemas tripulados. Além disso, os baixos custos operacionais e de aquisição destas aeronaves podem impulsionar um desenvolvimento acelerado das tecnologias que permitam um uso cada vez mais regular do VANT em aplicações civis. Assim sendo, entende-se que o estado atual, e futuro, dos veículos aéreos não tripulados apresentam fortes desafios para a academia, especialmente no que tange a aperfeiçoar o uso de um veículo aéreo que traga consigo um aumento significativo da capacidade e segurança, de operação a um custo efetivamente mais baixo.

2.10 Requisitos legais para operar um *drone*

Conforme o manual do usuário *mdcockpit* (2010), o usuário é o único responsável pelo manejo do sistema. Isso deve ser feito com segurança para evitar danos a pessoas ou propriedades, ou causar qualquer outro dano e evitar riscos desnecessários. O usuário é o responsável pelo registro do aparelho e demais equipamentos técnicos necessários para sua operação. O usuário deve cumprir os requisitos legais para fazer o *md4-1000* voar em cada local de voo. Especificamente, deve atender aos requisitos legais em matéria de:

- controle remoto por rádio, operando na faixa 35 MHz;
- vídeo transmissor na banda ISM de 2,4 GHz, a uma potência de 200 mW;
- veículo de voo em si, o qual deve estar assegurado;
- licença para voar;
- altura máxima permitida de voo.

Se a violação destes ou de outros requisitos levarem a reclamações de terceiros contra o usuário, em nenhuma circunstância a empresa Microdrones GmbH aceitará a responsabilidade por danos ou compensação financeira que surgirem em decorrência disso.

2.11 Regulamentação Brasileira para voos não tripulados

Para Furtado et al. (2008), a integração de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) no espaço aéreo civil ainda possui grandes barreiras que passam pelos domínios de regulamentação corrente, falta de experiência operacional e deficiências tecnológicas. Para a utilização de VANTs no espaço aéreo brasileiro, novos estudos sobre metodologias de análise e tecnologias deverão ser incorporados aos sistemas de controle atuais, promovendo uma convivência segura e confiável entre aeronaves tripuladas e não tripuladas.

O Controle de Tráfego Aéreo Brasileiro (CTA) ainda não está devidamente preparado para aplicações com VANTs. Será preciso, além de uma legislação a respeito, recursos computacionais e treinamentos adequados para os controladores de tráfego aéreo e pilotos. Estações de Controle de VANTs deverão comunicar-se com as estações de controle tradicionais, e estas com as aeronaves, sejam elas tripuladas ou não. Sistemas anticolisão proativos¹² e colaborativos¹³ precisam ser implementados, permitindo a convivência entre o mundo tripulado e o não tripulado.

Para Brasil (2012), um dos problemas enfrentados pela empresa Flight, é a falta de regulamentação aeronáutica para a operação de VANTs no espaço aéreo brasileiro. Só podemos operar VANTs com uma autorização especial do Departamento de Controle do Espaço Aéreo. A exploração comercial dos nossos produtos, no entanto, vai exigir uma mudança na legislação brasileira que trata a questão da navegação aérea de um novo tipo de aeronave (Furtado, 2008).

¹² Quando os equipamentos a bordo das aeronaves ou em solo identificam ameaças e riscos de colisão, avisam aos sistemas de controle das aeronaves a alternativa mais adequada para evitar um desastre aéreo.

¹³ Colaborativos quando os próprios pilotos são parte ativa na prevenção do acidente, com equipamentos a bordo que ajudem a monitorar o espaço ao redor e sua rota, sem que o controlador precise intervir a todo instante, em solo.

No Brasil, a portaria normativa nº 606/ Ministério da Defesa, de 11 de junho de 2004, dispõe sobre a Diretriz de Obtenção de Veículos Aéreos Não Tripulados e dá outras providências, conforme mostra o Anexo A deste trabalho.

Conforme o manual do usuário *mdCockpit*, as seguintes recomendações devem ser seguidas antes, durante e após a execução de um voo:

1. Verificar sempre, em cada operação, as permissões e os regulamentos necessários.
2. Ter sempre em conta o cálculo do tempo de voo e o tempo necessário para pousar. Não faz sentido elevar o *drone* muito alto se ele não tem autonomia para voltar ao pouso. Para isso, deve-se verificar se o sistema de acionamento de emergência está configurado.
3. Quando voar no modo *waypoint*¹⁴ deve-se ter sempre presentes as coordenadas GPS, pois são as rotas de navegação; não planejar voos muito perto de obstáculos. A precisão pode variar consideravelmente, dependendo do ambiente.
4. Nunca armazenar dados no cartão do *drone*, pois o conteúdo do cartão gerencia o sistema pelo *software* (mesmo que pareça que há espaço livre suficiente, porque os dados de voo se escrevem diretamente em certos setores do cartão e não aparecem nos arquivos da tabela). Se tentar salvar dados no cartão do *drone*, o mais provável é que vai destruir dados de voo. Neste caso, a empresa não pode assumir a responsabilidade técnica por defeitos do *drone* e por dados que tenham desaparecido.
5. Não voar nas proximidades dos aeroportos, instalações militares ou outras fontes de fortes emissões eletromagnéticas. Ficar a, pelo menos, cinco quilômetros do aeroporto.
6. Não voar perto das linhas elétricas. Não voar sobre as pessoas.
7. Evitar voar muito perto do avião ou outras aeronaves de aeromodelismo para evitar interferências com o controle remoto.
8. Quando precisar voar sobre a água, não se deve começar diretamente sobre a água, e sim manter sempre uma altura de pelo menos 50 m acima da superfície.
9. Evitar descer em linha reta, especialmente verticalmente. Descer em espiral ou fazendo “zig-zag”. Em uma descida vertical direta, o *drone* pode se desestabilizar ao se aproximar do chão.

¹⁴ Conjunto de coordenadas que identificam um ponto de passagem no espaço físico

10. Deve-se prestar atenção ao velocímetro do Mdcocpfit enquanto estiver descendo para aterrissar. No final do voo, normalmente, as baterias estão fracas, não tendo energia suficiente para frear, na descida, próximo ao solo, especialmente se o *drone* estiver carregado.

11. Nunca decolar com a bateria fria. As células LiPo oferecem alto desempenho, mas são sensíveis à temperatura. Se estiver voando a temperaturas muito baixa, a tensão pode diminuir abruptamente deixando o *drone* fora de controle. Se a temperatura cair abaixo de 15°C, deve-se colocar a bateria em algum compartimento para mantê-la quente, mas com o cuidado necessário para não deixá-la junto com objetos de metal.

12. Iniciar o voo com a bateria plenamente carregada. Bateria fraca é uma das causas mais frequentes de acidentes.

13. Antes da decolagem, certificar-se se as hélices estão apertadas. Uma fixação de forma incorreta pode causar correntes de ar que aumentam muito o consumo da bateria e, assim, reduzir o tempo de voo.

14. Somente decolar com o *trimmer*¹⁵ em uma posição neutra.

15. Durante o voo, a antena RC deve estar totalmente esticada em todos os momentos.

Quanto à velocidade do vento deve-se ter em conta que a velocidade onde se encontra o *drone* pode ser bem diferente de onde está o piloto. O sistema de segurança Mdcocpfit fornece um gráfico em forma de barras coloridas alertando sobre a condição de voo, onde Verde significa voo seguro, e vermelho, contínuo e frequente (deve-se aterrissar imediatamente, pois as rajadas ultrapassarão a capacidade de voo do *drone*).

O aplicativo Mdcocpfit tem uma função que, acionada, gera um arquivo KML que se transforma em um marcador de *waypoint* com a última posição GPS recebida, a qual poderá ser vista no *Google Earth*. Desse modo, pode-se identificar a posição do *drone* em caso de perda do aparelho. No modo de armazenamento de informações do sinal, pode-se, em caso de perda ou queda do *drone*, investigar as causas.

2.12 Sistema de Posicionamento Global – GPS

O Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System*) é um sistema de posicionamento (coordenação) relativo ou absoluto, utilizável em qualquer ponto da terra ou nas suas imediações

¹⁵ Ajustamento para atingir o valor final, permitindo um grau elevado de precisão.

atmosféricas. Atualmente, e cada vez mais, é utilizado nos mais diversos domínios. Foi criado e desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, originalmente com fins militares estratégicos, mas a partir de meados da década de oitenta o seu uso foi estendido a aplicações civis, tendo passado por uma contínua evolução desde então, principalmente no que diz respeito aos equipamentos eletrônicos e programas computacionais (SOUSA, 2004).

2.13 Sistema de Navegação Inercial – INS

O Sistema de Navegação Inercial (*Inertial Navigation System* INS) foi demonstrado pela primeira vez em 1949 por C. S. Draper, e, desde então, tem sido o método de navegação preferido, quer para fins militares, quer para fins comerciais. A determinação direta dos parâmetros de orientação de fotografias aéreas baseada apenas em GPS encontra-se limitada a aplicações menos exigentes em nível da precisão na determinação da atitude da plataforma. Para aplicações mais exigentes, é necessário recorrer a sistemas baseados na integração de sistemas de navegação inercial e GPS, os quais foram já desenvolvidos e utilizados com sucesso em vários trabalhos (TOMÉ, 2000).

O Sistema Inercial fornece a velocidade da plataforma relativamente ao solo, à rota e ao tempo de voo, e pode ser considerado como o principal sistema de navegação, uma vez que não necessita transmitir nem receber sinal externo, e, por não ser afetado por perturbações externas. Teoricamente não possui limitações em termos de precisão, fornece informações precisas de velocidade, rumo e atitude. A navegação aérea, baseada no INS é possível para todas as altitudes, mesmo em condições adversas (MOSTAFA e SCHWARZ, 2001).

O princípio do INS é baseado nas leis de movimento. Se o campo gravitacional através da trajetória for conhecido, a posição pode ser determinada através de “integrações duplas”¹⁶. Por outro lado, a informação relativa à gravidade pode ser extraída se a posição e a velocidade do veículo forem conhecidas. O fundamento da navegação inercial baseia-se, portanto, na integração de acelerações observadas através da montagem de acelerômetros em um veículo ou avião. A primeira integração da aceleração fornece a velocidade e a segunda integração fornece a posição, mas as condições iniciais de integração

¹⁶ A primeira integração da aceleração fornece a velocidade, e a segunda integração fornece a posição no espaço.

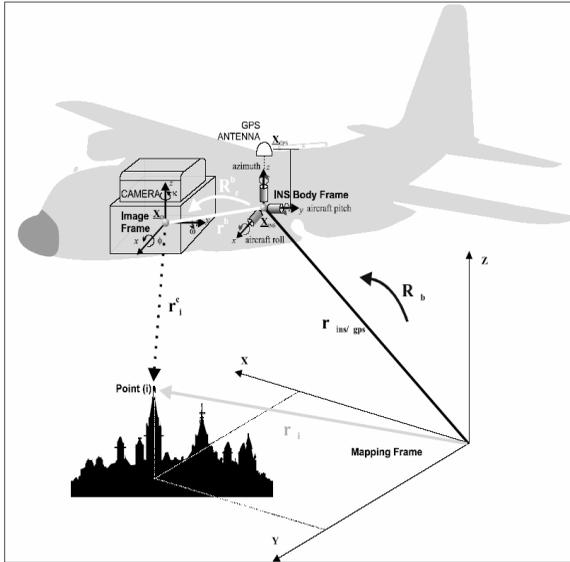
têm de ser conhecidas. Por isso, e ao contrário do sistema GPS, o INS é um sistema de posicionamento relativo.

Os acelerômetros instalados em uma plataforma detectam a aceleração provocada pelo deslocamento do veículo em relação ao solo. A indicação, sob a forma de sinal, é transmitida aos integradores que perfazem uma integração dupla. A distância é enviada para o computador que realiza duas operações: a determinação da posição em relação ao sistema de coordenadas usado e o envio do sinal de retorno para a plataforma, a fim de fazer-se a reposição dos acelerômetros. O conceito básico de georreferenciamento utilizando a integração do GPS com o sistema inercial é bastante simples: na aquisição de cada imagem determina a orientação da câmara (ω , ϕ , κ) e a posição (X_0, Y_0, Z_0) do ponto principal da fotografia no momento da exposição (SHIN, 2001).

Conforme Oliveira (2008), os giroscópios são os responsáveis pela estabilização da plataforma, e apresentam um sinal elétrico na saída que corresponde ao ângulo de inclinação entre os giroscópios e a estrutura de referência do sistema. O controle é realizado por um micro controlador que recebe os sinais dos sensores, atuando nos servomotores para correção automática do posicionamento mantendo sempre estabilizada a câmera fixada na plataforma. O uso de giroscópios é uma das formas de fazer com que um determinado dispositivo possa ser mantido na horizontal através da correção dos deslocamentos nas direções de rolamento e arfagem.

A combinação destes sistemas de medição, conforme mostra a Figura 11, proporciona um grande número de vantagens. Quando se pretende uma maior exatidão relativamente à determinação da posição, a integração do GPS e do INS é a única solução técnica apropriada e também a mais econômica. Tal como já foi referido anteriormente, os sistemas INS e GPS integrados são essencialmente capazes de determinar a posição e a atitude necessárias ao georreferenciamento direto de imagens. As vantagens dos dois sistemas complementam-se e a sua combinação proporciona um sistema de navegação com as propriedades desejadas para a determinação da orientação externa das fotografias aéreas (MOSTAFA; HUTTON, 2001).

Figura 11 – Georreferenciamento direto com o sistema GPS/INS.



Fonte: Sousa (2004).

No *md4-1000*, a Unidade de Medição Inercial (IMU) é o sistema eletrônico responsável pelas atitudes de voo, está integrado nesse sistema o controle de posição (GPS) e estabilizador de altitude barométrica, sensores intercomunicadores que combinados se fundem em um filtro de Kalman tais como giroscópios acelerômetros, e magnetômetros que, por meio de dois microcontroladores, fornecem as correções do voo e o cálculo da velocidade, orientação e altura de voo.

Conforme Tomaselli (2001), os sistemas inerciais são destinados, fundamentalmente a medir a atitude do sensor, ou seja, os ângulos de orientação. Os sistemas deste tipo são conhecidos como I.M.U. (Unidade de Medição Inercial) e são compostos de 3 giroscópios e 3 acelerômetros, além de sensores auxiliares para a calibração. O sistema inercial é rigidamente conectado a uma interface que também captura dados GPS, de tal modo que é possível determinar a posição e orientação da câmera durante a tomada da foto. Embora esta informação não seja precisa o suficiente para eliminar completamente a necessidade de pontos de apoio medidos em campo, está provado experimentalmente que podem ser medidos apenas quatro destes pontos em um bloco para obter as precisões compatíveis com o mapeamento.

2.14 Aerotriangulação

A posição e atitude, conforme Souza (2004), no instante da tomada da foto é um dos aspectos indispensáveis à restituição fotogramétrica de informação georreferenciada. A determinação destes parâmetros é feita, no processo tradicional de aerotriangulação, com recurso à coordenação de pontos claramente identificáveis na fotografia e no terreno, designados por pontos fotogramétricos.

A operação de aerotriangulação não é mais que um conjunto de operações que permitem orientar a cobertura fotográfica de um objeto, de modo a formar um modelo composto por vários modelos parciais (blocos), matematicamente semelhantes ao objeto, com o mínimo de apoio geodésico possível. A aerotriangulação permite realizar em gabinete, com maior rapidez, eficácia e precisão, grande parte do trabalho de campo, reduzindo grandemente, não só o trabalho do apoio topográfico, como também o tempo e os custos da realização de todo um projeto.

A aerotriangulação é, portanto, um processo que visa estabelecer uma rede de pontos auxiliares ao longo de todo o “bloco fotográfico”¹⁷, bem definido nos modelos e com coordenadas de terreno determinadas. (SOUSA, 2004).

2.15 Qualidades da imagem

Conforme Jorge (2003), a nitidez das imagens obtidas a bordo de uma aeronave depende da estabilidade da aeronave em voo. Aeronaves em escala reduzida são menos estáveis e apresentam maior vibração mecânica que as aeronaves em tamanho real. Quanto menor for o tempo de exposição na aquisição de uma imagem, maior será a possibilidade de se obter uma imagem nítida com a aeronave em movimento e sujeita a vibrações. Os fatores que afetam a qualidade das imagens obtidas são: sensibilidade do elemento captador de imagem, abertura do diafragma, tempo de exposição, condições de iluminação do local, velocidade horizontal da aeronave, vibração linear da aeronave na direção dos eixos de arfagem e rolagem, vibração angular da aeronave em relação aos eixos de arfagem, rolagem e guinada.

Uma característica importante para a obtenção de imagens nítidas é a velocidade de voo da aeronave. Quanto mais baixa for essa velocidade, maior é a possibilidade de obtenção de imagens nítidas para

¹⁷ Conjunto de fotografias que compõem o levantamento.

uma mesma condição de iluminação. A velocidade mínima de voo de uma aeronave depende do seu tipo. Em balões e helicópteros essa velocidade é próxima a zero. Em aviões, a velocidade mínima de voo está intimamente relacionada com a velocidade de estol, que pode ser estimada pela expressão:

$$VS = \sqrt{\frac{1,6p}{SA.Da.Cmax}} \quad (10)$$

em que: VS, velocidade de estol (m/s); p, peso da aeronave (kg); SA, área da asa (m²); Da, densidade do ar no nível do mar; Cmax, coeficiente de sustentação máximo, normalmente próximo de 1.

2.16 Fotografia 3D

Conforme Carvalho et al. (2005), a fotografia 3D é uma das áreas de pesquisa recentes que tem se mostrado ser mais promissoras em computação gráfica. Isso se deve a vários motivos. Em primeiro lugar, a área unifica técnicas de visão computacional, processamento de imagem, modelagem geométrica e visualização. Nesse sentido, ela pode ser considerada como uma subárea da modelagem e visualização baseada em imagens. Em segundo lugar, o rápido desenvolvimento de equipamentos digitais de fotografia e vídeo possibilita a construção de sistemas de aquisição 3D muito efetivos e de baixo custo. Em terceiro lugar, a reconstrução de objetos tridimensionais a partir de imagens tem inúmeras aplicações em diversos campos, tais como arqueologia, patrimônio histórico e cultural, artes, educação, comércio eletrônico e desenho industrial.

O resultado final do processo de fotografia 3D é um modelo geométrico do objeto que define a geometria, topologia, e outras propriedades do objeto real. Esse modelo permite extrair diversas informações para operações com o objeto, tais como: medições, simulações e visualizações.

2.17 Fotogrametria

A Fotogrametria, segundo a ASPRS (1980) (*American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*), é a arte, ciência, e tecnologia de obtenção de informações confiáveis sobre os objetos físicos e o meio ambiente, por meio de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões da energia eletromagnética radiante e outros fenômenos.

Fotogrametria geométrica é a parte da fotogrametria que trata dos aspectos geométricos do uso de fotografias, com a finalidade de obter valores aproximados de comprimentos, alturas e formas. Ela desconsidera o princípio da orientação das fotos e, em alguns casos, permite o uso de apenas uma foto (RIBEIRO, 2002).

Para Coelho (2009), fotogrametria é a ciência e tecnologia de se reconstruir o espaço tridimensional, ou parte do mesmo (espaço-objeto), a partir de imagens bidimensionais, advindas da gravação de padrões de ondas eletromagnéticas (espaço-imagem), sem contato físico direto entre o sensor e o objeto ou alvo de interesse.

Empiricamente, estabeleceu-se a seguinte regra para determinar a escala da foto em função da escala da carta pretendida:

$$MF = c \sqrt{m_c} \quad (11)$$

onde: MF é o módulo da escala da foto, m_c , o módulo da escala da carta e c, a constante da câmara utilizada em [mm]. (REDWEIK, 2007).

Conforme Jensen (2011), a fotogrametria permite realizar medições precisas por meio de fotografias aéreas. Utilizando-se apenas uma fotografia é possível obter a escala da fotografia e medir alturas, comprimentos, áreas e perímetros de alvos no solo. Com duas ou mais fotografias, obtidas consecutivamente, é possível a estereoscopia (visualização em três dimensões), o que permite a localização planimétrica e altura precisas dos objetos, extração do modelo digital de elevação (mdE), informação de declividade e orientação de vertentes e obter ortofotos com acurácia planimétrica.

A utilização de câmaras não métricas passou a ganhar grande importância, uma vez que estas são muito mais baratas e práticas. Inúmeras pesquisas foram estabelecidas nessa área, levando a procedimentos seguros de calibração. Esse procedimento costuma ser realizado fotografando-se um determinado alvo (COELHO e BRITO, 2009)

Para efeitos de retificação fotográfica, embora em teoria não seja necessária qualquer sobreposição longitudinal, pois não se pretende usufruir da estereoscopia, os voos são geralmente feitos com sobreposições superiores a 70% para se aproveitarem para o produto final apenas as zonas centrais das fotos onde as distorções radiais devidas ao relevo e à altura dos objetos são menores. Normalmente são exigidas para este caso iguais sobreposições longitudinal e lateral. (REDWEIK, 2007)

Segundo Redweik (2007), para a produção cartográfica é utilizada primordialmente a fotogrametria aérea. Os métodos de restituição utilizados são a retificação fotográfica e a estereorrestituição.

A fotogrametria com vistas ao mapeamento em larga escala, interessa transformar as imagens, a fim de eliminar os ângulos Φ e ω , gerando, então, imagens perfeitamente verticais. Vale lembrar que, para imagens aéreas, Φ e ω devem ser menores que 5° . O objetivo primordial da retificação para a fotogrametria aérea/orbital é gerar uma nova imagem vertical sem as distorções introduzidas pela atitude do sensor durante a tomada da imagem. A imagem resultante poderá, inclusive, estar isenta dos erros de deslocamento devido ao relevo. Nessa hipótese, deve-se realizar o processo da ortorretificação. A retificação é orientada à imagem, sendo necessário o conhecimento dos parâmetros de orientação interior e exterior da mesma. (COELHO e BRITO 2009)

2.17.1 Sensoriamento remoto

De uma forma geral, Silva (2003) define sensoriamento remoto como um conjunto de técnicas que têm como objetivo específico medir características físicas de um objeto sem tocá-lo.

O sensoriamento remoto se baseia na interação da radiação eletromagnética com os objetos da superfície terrestre, como a vegetação, a água e o solo, que refletem, absorvem e transmitem a radiação eletromagnética em porções que variam com o comprimento de onda, de acordo com as suas características bio-físicas-químicas (FLORENZANO, 2002).

As fotografias aéreas utilizadas neste estudo registram a radiação eletromagnética compreendida na região do visível do espectro (comprimentos de onda entre 400 e 700 nm) e estão no formato jpg.

2.17.2 Fotografia aérea vertical

Conforme DISPERATI (1995) afirma, fotografias aéreas verticais referem-se comumente às obtidas com a câmera fotográfica instalada em uma aeronave, sendo mais comum o uso do avião. Todavia, é possível a obtenção de fotografias aéreas manuais, onde o fotógrafo mantém a câmara fotográfica em posição adequada dentro ou fora da aeronave, e assim possibilitando também o uso do ultraleve.

Uma fotografia aérea é dita vertical quando, no momento de sua tomada, o eixo ótico da câmara fotográfica está apontando verticalmente, equivalente à linha do fio de prumo, ou tão próximo dela,

quanto possível. Como na prática é muito difícil a obtenção de fotografias aéreas exatamente verticais, sob um ponto de vista prático, aceitam-se como sendo fotografias aéreas verticais as que apresentam um ângulo de inclinação de até 3 graus, em terrenos com até 10% de declividade. As demais são consideradas inclinadas.

Para Marquetti e Garcia apud Carvalho (1994), áreas e distâncias devem, preferentemente, ser medidas em mapas de precisão, quando forem requeridas medidas exatas. Entretanto, podem-se obter medidas com ou sem precisão utilizando-se aerofotografias verticais, quando a superfície do terreno for plana ou suavemente ondulada.

De acordo com Tomar e Maslekar apud Disperati (1995) as fotografias aéreas verticais possuem as seguintes vantagens: elas podem ser estudadas estereoscopicamente por fornecerem imagem tridimensional; podem ser localizadas facilmente nos mapas por processo simples; possuem direções com exatidão suficientes para trabalho de campo e podem ser tomadas medidas sobre elas; altura e profundidade podem ser vistas e mensuradas; elas não contêm áreas do terreno obscurecidas por objetos maiores situados na frente; apresentam exatidão de formas; podem ser usadas para elaborar os mapas topográficos e/ou temáticos ou usadas como substituto deles.

2.17.3 Fotografia oblíqua

Em comparação com a vertical, a fotografia oblíqua fornece ao intérprete uma visão familiar dos objetivos, tornando-os facilmente identificáveis. As fotografias oblíquas são excelentes para mostrar o perfil de construções, abrangência de grandes indústrias, etapas de áreas em construção, rotas de transporte, entre outros.

Conforme Sampaio (2007), dependendo do grau de inclinação do eixo óptico, pode obter-se uma perspectiva, ou seja, uma visão panorâmica do terreno. Esta perspectiva apresenta-nos os objetos de uma forma mais familiar dado que a nossa visão do mundo é em perspectiva, facilitando assim a sua análise. Este tipo de imagens tem o inconveniente de não permitir distinguir bem as periferias e carecem de uniformidade de escala. A sua utilização é mais adequada em aprofundamento de estudos em locais já conhecidos do que na identificação de novos elementos. Elas não permitem visão estereoscópica e empregam-se como complemento das imagens verticais.

Segundo Disperati (1995), ao ser comparado com a correspondente vertical, a fotografia aérea inclinada apresenta as seguintes vantagens:

- a) uma fotografia inclinada abrange mais área que a vertical obtida a mesma altura de voo e com a mesma lente;
- b) maior facilidade para evitar cobertura de nuvens;
- c) a sua interpretação é mais natural, porque a visão de perfil é similar àquela de um observador localizado em uma colina;
- d) melhor visualização de objetos que estejam encobertos por outros objetos, como por exemplo em baixo de árvores;
- e) facilidade de obtenção;
- f) aspecto agradável e familiar da imagem, que acarreta conseqüentemente um interesse no assunto geométrico, temático etc.;
- g) aumento na superfície do terreno coberta de um mesmo ponto de vista, ou seja, acarreta maior economia pelo menor número de fotografias.

Para Wolf (1995), fotografias oblíquas, são fotografias obtidas com o eixo da câmera inclinado intencionalmente em relação à vertical. Se a inclinação do eixo permitir mostrar o horizonte, então é chamada de oblíqua alta, se o horizonte não for visível, então são denominadas oblíquas baixas; ressalta ainda que as fotografias oblíquas tem a vantagem de mostrar os objetos na sua reconhecida forma. Por outro lado as fotografias oblíquas são mais difíceis de serem analisadas numericamente e não é facilmente adaptável a compilação de mapas. Também, objeto localizado no primeiro plano da fotografia oblíquo obstrui a visada de outros.

Também Wolf (1995), coloca que fotografias panorâmicas são imagens feitas do terreno transversal a linha de voo geralmente de dois tipos: aquelas que escaneiam por rotação do prisma no sentido longitudinal ou no sentido lateral, cobrindo uma visada de 180° .

Para Grenzdörffer (2008), imagens oblíquas é uma ferramenta indispensável para os seguintes usos gerais em:

- a) **Desvio fiscal na avaliação e construção de imóveis:** na medição de áreas, fachadas de edifícios e construções dos bens de capital.
- b) **Planejamento de infraestrutura urbana:** nas medidas comparativas de edifícios e estruturas; na arquitetura paisagística e planejamento urbano; ser usada para cadastrar e avaliar imóveis; fazer cálculos de linha de visão na distribuição de postes para o planejamento de telecomunicações.
- c) **Gerenciamento de operações de segurança militar:** na visualização e avaliação imediata de locais críticos; identificação de

infraestruturas em áreas circunvizinhas; na medição de acessos, aberturas e planejamento de acesso e rotas de saída;

- d) **Multivisão na proteção de infraestrutura crítica:** como uma ferramenta valiosa para instalações de aeroportos, portos, estações ferroviárias, centros comerciais, edifícios governamentais, prisões, hospitais, áreas densamente, Instalações da fábrica e áreas industriais e facilidades às autoridades;
- e) **Levantamento e gestão cadastral:** levantamento e organização do cadastro em atividades nas áreas rurais; fundamental para projetos cadastrais em 3D.

Segundo Disperati (1995), em contraposição às fotografias aéreas verticais, as fotografias aéreas inclinadas são tomadas com o eixo ótico da câmara fotográfica dirigido intencionalmente ou não, para qualquer posição entre a horizontal e a vertical. Baseado na inclinação da câmara, as fotografias aéreas inclinadas podem ser classificadas em dois tipos: alta e baixa. Na inclinada alta, a linha do horizonte é mostrada, enquanto que isto não ocorre na inclinada baixa. A escolha de um determinado ângulo de inclinação para a tomada das fotografias aéreas dependerá de uma série de fatores, tais como: objetivo e finalidade do trabalho, câmaras fotográficas e aeronaves disponíveis, detalhes necessários nas fotografias, conhecimento da arte de obtenção das fotografias, disponibilidade ou não de suporte para fixar a câmara na aeronave, etc.

2.17.4 Fotointerpretação

Segundo Sampaio (2007), a interpretação da paisagem, através da correlação entre a realidade de campo e a fotografia aérea ou a imagem de satélite permite uma delimitação prévia das unidades taxonômicas de pedologia, que permite um melhor planejamento do trabalho de campo. Assim, pode definir-se a fotointerpretação como, o ato de examinar imagens com o fim de identificar objetos, áreas ou fenômenos e avaliar o seu significado. Quando a fotointerpretação é efetuada com o objetivo de elaborar cartografia pedológica, ela se torna um exame dos elementos dos padrões fotográficos, quantitativos e qualitativos, que permitem diagnosticar as prováveis unidades de solos.

A grande maioria de trabalhos de fotointerpretação é feita com técnicas relativamente simples, que existem há bastante tempo e se encontram em um sólido estágio de desenvolvimento. Entretanto, cada vez mais são necessários estudos no sentido de adaptar essas técnicas às particularidades inerentes a cada área de aplicação da fotointerpretação, bem como aos diversos tipos de sistemas sensores e imagens

disponíveis, visando à busca de informações. Um dos aspectos importantes na atividade de fotointerpretação é o conhecimento das diversas etapas existentes desde a aquisição da imagem até a informação propriamente dita (Sampaio, 2007).

Para Marquetti e Garcia (1978), é a arte de deduzir informações através de fotografias aéreas. Às vezes é denominada de arte e às vezes de ciência, porém na maioria dos trabalhos é tratada como uma técnica que requer um tratamento científico, mas sem perder de vista a exigência de habilidade por parte do foto intérprete. Para Rocha (1995), o interpretador de aerofotogramas deve possuir visão estereoscópica perfeita, ou pelo menos corrigida (acuidade visual), poder de dedução (acuidade mental), deve conhecer e ter grande experiência na área de engenharia florestal, idem de solos, na área de agronomia e assim por diante com relação a todos os temas. Para Pegoraro (2000), em virtude de o homem não estar acostumado à visão vertical dos objetos, a leitura de fotografias aéreas requer a observância de determinadas regras a que se pode referir como chaves de que o foto intérprete se utiliza sempre que trata de ver o solo do ponto de vista elevado através de fotografias. As identificações dos objetos nas fotografias giram basicamente em torno de uma chave de interpretação com cinco indícios facilitadores de leitura: sombra, forma, tamanho, tonalidade e adjacências. Os quais sempre deverão ser lembrados na decifração das leituras fotográficas, pois todos têm sua parcela de correlação.

2.17.5 E-foto

As conceituações a seguir, foram extraídas dos tutoriais do aplicativo fotogramétrico livre E-foto desenvolvido pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro para versão educacional.

A Orientação Interior é o processo que possibilita que se recupere a referência da imagem digital em relação ao sistema de coordenadas métricas da câmara fotogramétrica. Isto é feito medindo-se as marcas fiduciais, em geral disponíveis em câmaras de filme (câmaras analógicas). No caso de uma imagem digitalizada, a medição das marcas fiduciais permite correlacionar a posição em pixels (coluna e linha) na imagem com a posição em milímetros do sistema cartesiano da câmara, em que os eixos se cruzam na projeção do eixo óptico da câmara sobre o plano da imagem (ponto principal).

Orientação Exterior é o processo pelo qual, através de pontos de controle ou de apoio medidos no terreno e identificáveis nas imagens,

pode-se calcular a orientação das imagens em relação ao sistema de coordenadas do terreno.

A Foto triangulação é a técnica de cálculo e ajustamento das coordenadas dos centros de perspectiva e dos ângulos de atitude do sensor no momento da aquisição de cada uma das imagens fotográficas que compõem um bloco fotogramétrico, de forma a permitir a obtenção de coordenadas tridimensionais no espaço objeto (terreno) a partir do espaço imagem.

O módulo Modelo Digital de Elevações tem por finalidade, extrair o Modelo Digital de Elevações de um conjunto de imagens de um projeto fotogramétrico, ou seja, o modelo de uma parte da superfície do terreno.

Uma ortoimagem é uma imagem de perspectiva ortogonal, isto é, onde os raios projetivos são paralelos e o ponto de vista está no infinito. Portanto, uma ortoimagem não possui distorções devidas ao relevo.

O Módulo Estereoploter do E-foto tem por finalidade realizar a restituição fotogramétrica tridimensional da superfície do terreno representada em um modelo estereoscópico. Esta operação compreende, basicamente, a representação do contorno de objetos (feições) naturais ou artificiais presentes no modelo estereoscópico.

2.18 Mosaicagem

Segundo Eisenbeiss (2009), as aplicações do futuro dos VANTs, especialmente na Suíça, serão nos Alpes para o acompanhamento e documentação das alterações locais das geleiras, rochas, deslizamentos de terras e cheias. Assim, ter-se-á que distinguir, por exemplo, as aplicações de precisão (nível centímetros) de altura e produção de ortofotos, e aplicações de nível baixo de exatidão (nível metros), como, geotagging e mosaicagem de análises rápidas. O estado da arte dos VANTs está pronto para a aquisição de imagem em tempo real, enquanto que o pós-processamento é obrigatório para aplicações requerentes de alta precisão.

Irschara et al. (2010), utilizou o VANT md4-200 (Microdrone) equipado com uma câmera Pentax Optio A40 em dois voos por controle remoto manual, para obtenção de 615 imagens de 12 *megapixels* de diferentes pontos de visada, e 8 pontos de controle em solo obtidos por Estação Total. Em seu trabalho, defendem a ideia de que, no futuro, o sensoriamento remoto vai presenciar uma grande diversificação de sensores e plataformas de sensores que também se beneficiará dos

recentes avanços das tecnologias da computação para empregar novos algoritmos anteriormente demasiados e complexos de se aplicar.

O trabalho é sustentado por três etapas de atividades: a primeira delas é de que um VANT, equipado com câmeras digitais, pode fornecer informações visuais e valiosas sobre a superfície da terra de forma rápida e com baixo custo de praticamente qualquer ponto de vista; a segunda demonstra um fluxo de trabalho na íntegra para processar um bloco considerável de imagens, de forma totalmente automatizada; na terceira etapa, construíram esse fluxo de trabalho, visando basicamente a comparar um conjuntos de imagens desordenadas, como geralmente coletadas por um VANT, com o auxílio de uma Unidade de Processamento Gráfico (GPU), capaz de executar algoritmos complexos em um tempo aceitável, com os resultados obtidos com o software Photo Modeler, a fim de atender e orientar essas imagens automaticamente e demonstrar seu desempenho em termos de automação, precisão e tempo de processamento. Concluíram que é viável rápido e preciso a reconstrução, de cenas desordenadas captadas pela plataforma VANT e que os resultados obtidos dos processamentos alcançam bons níveis de precisão.

2.19 Estereoscopia

Conforme Johanson (2001), a base para a percepção estereoscópica é a disparidade binocular do sistema visual humano, que gera duas imagens ligeiramente diferentes quando uma cena é projetada nas retinas dos olhos. As duas perspectivas diferentes das imagens são fundidas no córtex visual do cérebro, de forma a compor uma simples visão estereoscópica (tridimensional). Esse processo pode ser simulado através de duas câmeras organizadas com a mesma distância interocular dos olhos humanos. Logo, colocando-se as câmeras separadas uma da outra com base nessa distância, simula-se o sistema visual humano. Quando cada imagem das câmeras for apresentada ao seu olho correspondente, as duas imagens serão fundidas em uma única imagem pelo cérebro, produzindo a ilusão de visão estereoscópica.

Para Coelho e Brito (2009), o sistema de visão humana pode ser simulado através de imagens fotográficas. Para tal, é necessário fotografar os objetos de pontos de vista distintos, de forma que haja certa uniformidade na escala das imagens e superposição na direção da cobertura fotográfica. Projetos de mapeamento fotogramétrico normalmente adotam as proporções de 60% e 30%, respectivamente, para as superposições longitudinal (ao longo da faixa de voo) e lateral

(transversalmente à direção de voo). A tomada de uma fotografia de uma cena geográfica pode ser feita por intermédio de uma câmara fotográfica, sendo esta métrica ou não. É também possível obter fotografias de modo sistemático, por meio de uma plataforma aerotransportada, com determinadas características de estabilidade em voo e dotada de sistemas de controle de seus parâmetros de navegação e posicionamento.

2.20 Imagens anaglifa

O princípio da visão 3D ou estereoscópica está baseado no sistema da visão humana, em que cada olho captura uma imagem diferente uma da outra devido à distância entre os olhos. As duas perspectivas resultam em uma imaginação espacial do modelo observado; a base para a visão estérea são essas diferenças de perspectivas. O valor fisiológico para a percepção de profundidade é denominado de paralaxe estereoscópica. A percepção de profundidade diminui quando aumenta a distância do observador ao objeto e aumenta quando o objeto está próximo do observador (Ning Qian, 1997).

As imagens anaglifas são figuras ou cenas especialmente construídas para este fim. Submetidas a filtros coloridos apresentam diversos níveis de profundidade, quase exatamente como nossos olhos enxergam quando vê naturalmente. A visão em três dimensões ou estereoscópica depende muito da nossa visão binocular. O anáglifo não é o único método para representar imagens em 3D, mas é o sistema mais barato, tanto para o desenvolvedor como para o espectador, pois se utiliza de óculos de baixo custo e existem *softwares* livres que podem aplicar os filtros. Não é a forma mais eficiente de extrair dados, pois há muita perda de detalhes, mas para uma apreciação rápida se mostra eficiente. As imagens em 3D são utilizadas há muito tempo para representar o relevo em aplicações fotogramétricas para estudar a relação solo/paisagem.

2.21 Interferências atmosféricas

Conforme Lupatini (1996) em seu curso de voo livre destaca alguns conceitos importantes para se compreender as atividades atmosféricas sobre corpos que estão imersos nela.

Com o movimento do ar surge o vento, que é principalmente causado pela diferença de temperatura entre dois pontos, portanto com pressões atmosféricas diferentes. Esses movimentos ocorrem em

diversas escalas, desde pequenos redemoinhos até enormes massas de ar que avançam sobre continentes e oceanos. Os grandes movimentos de ar são denominados macroclimas ou ventos dinâmicos, e os pequenos de microclima ou ventos locais.

A decolagem, o voo e o pouso de onde, quando e para onde se deseja será sempre dentro dos parâmetros determinados pelo vento. Aprender a compreendê-lo e respeitá-lo tornarão o voo mais seguro e mais duradouro. Para melhor compreendê-lo, pode-se associá-lo a uma massa fluida, onde os movimentos ocorrem sem deixar espaços vazios.

O vento é chamado pelo nome da direção de onde sopra, assim, o vento que vem do sul para o norte é chamado de vento sul, do norte para o sul é chamado de vento norte. E assim por diante. Se a direção do vento não for exatamente alguma dessas, chamar-se-á pelo nome da mais próxima. Para a precisão necessária neste trabalho estas escalas foram o suficiente. Ainda quanto às correntes de ar, faz-se necessário considerar as seguintes situações:

As correntes aéreas ascendentes denominadas de *Lift* são provocadas por acidentes geográficos. Ocorrem quando os ventos seguem laminarmente em uma superfície plana e ao encontrarem um obstáculo se projetam para cima criando uma força vertical para cima, originando uma área de sustentação. A zona de *lift* pode ser extensa e bem à frente e acima do obstáculo, no entanto o vento é mais forte à beira do obstáculo. O *lift* é um aliado do voo livre.

Ao contrário dos *lifts* as turbulências são inimigas do voo. Elas se formam atrás e nas laterais dos obstáculos naturais. O vento acelera de forma descendente e rápida, produzindo uma espécie de rotor invisível. Este rotor poderá levar o equipamento ao solo e até mesmo arrastá-lo ao chão. As ascendentes térmicas surgem em certas áreas do solo de uma região que são aquecidas pelos raios solares mais rapidamente como no caso de cidades, asfalto e terrenos descobertos, que outras, como no caso de águas, florestas ou simplesmente regiões cobertas de vegetação, seja devido a sua composição ou por receber mais insolação em um determinado horário ou por ambos os fatores combinados. O ar adjacente a essas áreas tende a aquecer mais que o ar circundante e assim em um dado momento, desprende-se do solo e sobe como uma bolha de ar quente, deslocando para cima o que estiver em sua trajetória. Os horários em que há mais formação de termais é entre às 11 h e às 16 h.

A umidade contida no ar ascendente condensa-se quando encontra camadas de ar mais frio em altitude formando as nuvens chamadas de cúmulos. Sempre que uma massa de ar se eleva do solo

haverá outra que desce, tendendo para o equilíbrio. Elas não se formam devido às altas temperaturas, mas sim devido à diferença de temperatura entre as áreas e locais adjacentes.

A massa de ar aquecida torna-se menos densa, fica mais leve que as outras que rodeiam e tem tendência a subir, até que, com o aumento de altitude, a temperatura baixe, tornando a massa de ar novamente mais densa, mais pesada, o que provoca sua descida, dando lugar às chamadas descendentes. Porém, na prática, as térmicas podem adquirir uma variedade de formas e características, inclinando-se para o lado contrário de onde sopra o vento. Estas massas de ar ascendentes, assim como os *lifts* constituem uma variável física sem controle para a obtenção de fotografias aéreas, contribuindo também para a alteração da escala da fotografia vertical. A alternativa seria voar sobre as nuvens. Porém, estas seriam obstáculos.

3 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo descreve os procedimentos realizados durante a elaboração da tese. Inicialmente a pesquisa passou por uma revisão bibliográfica exposta no Capítulo II envolvendo parte do estado da arte, pois o assunto é muito dinâmico e vem sendo tratado em varias esferas diferentes em muitos lugares do mundo. A intenção deste capítulo foi de proporcionar maior familiaridade com a situação, para explicitá-la e construir hipóteses, desenvolver, criar e modificar conceitos e ideias para a formulação de novas abordagens de aplicação a situações que possam ser adequadas ao contexto social. Portanto, o trabalho transcorreu através de pesquisas bibliográficas e estudos de caso para uma situação onde a convergência exploratória deu-se sobre um equipamento pouco conhecido como plataforma de levantamento de dados e aplicação cadastral.

As principais atividades práticas foram realizadas nas dependências da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no Laboratório de Sensoriamento Remoto (LABSERE) do Centro de Ciências Rurais (CCR). Na medida em que os experimentos e a confiança evoluíram, foram escolhidas outras áreas, de modo que se pôde reunir materiais e experiências de levantamentos em áreas pontuais rurais e urbanas bem diferenciadas. A pesquisa, no entanto, não encerra neste trabalho, e o equipamento abre possibilidades para muitas outras investigações.

Todo o desenvolvimento do trabalho ocorreu a partir da proposição da escolha de um VANT e seus periféricos de apoio que apresentasse os requisitos necessários para esta finalidade e fossem feitos testes de avaliação para identificação de seu potencial.

A escolha do *md4-1000* e seus equipamentos de apoio também se deveram ao fato destes se destacarem devido à simplicidade mecânica e à facilidade de execução de manobras de voos, tornando-se um campo de interesse de muitas pesquisas, principalmente nos países europeus, em particular nos últimos dez anos, quando estes se tornaram mais acessíveis no mercado.

Após a escolha do equipamento e de seu fornecedor, iniciou-se a trajetória da pesquisa que partiu do marco zero apontado pela preocupação dos recursos para sua aquisição. A princípio, esta parecia a maior dificuldade, mas isto foi solucionado com a incorporação dos equipamentos a um projeto de pesquisa já vinculado à Universidade Federal de Santa Maria- UFSM e o Centro de Ciências Rurais – CCR, através de recursos do Programa Pró-Equipamentos - CAPES. Então a

pesquisa propriamente dita se iniciou com a chegada do equipamento, interpretação de manuais, montagem do sistema, carga de baterias, domínio de *softwares*, treinamentos de voo, elaboração e execução de rotas, obtenção de imagens, avaliação dos resultados e conclusões. Todas estas etapas são apresentadas nos capítulos procedimentos metodológicas, resultados e conclusões.

3.1 Materiais

Os principais materiais que fizeram parte da pesquisa foram:

3.1.1 VANT *md4-1000*

O equipamento utilizado neste estudo (*md4-1000*) foi fabricado pela empresa alemã Microdrones, e foi escolhido como objeto de pesquisa devido às suas características técnicas. É uma plataforma aérea que permite a obtenção de imagens fotográficas e vídeos, incorpora sensores que possibilitam a estabilidade do equipamento dentro de um comportamento aéreo eficiente para boas tomadas fotográficas, possui eficientes sistemas de segurança de voo e a transmissão de dados permite o acompanhamento direto da execução do voo. Sua capacidade de programação de voo sugere planejamentos de rota que podem ser executados de forma manual ou automática.

É um quadricóptero construído num chassi de fibra de carbono em conjunto com eletrônica adaptada para obtenção de fotografias e imagens de vídeo, a partir de uma determinada posição no ar. Este veículo emprega tecnologias que são normalmente encontradas apenas em aviação tripulada ou em VANTs militares, tais como GPS, navegação inercial, piloto automático e gravação de dados de voo (MICRODRONES GMBH, 2009).

O VANT modelo *md4-1000*, também denominado neste estudo de *Drone*, Figura 12, foi escolhido por apresentar características técnicas que sugerem aplicações fotogramétricas e por possuir tecnologias que estão presentes, ou deverão estar incorporadas na maioria do VANTs do futuro para aplicações científicas. A escolha deste equipamento implicou também na escolha de uma câmara fotográfica compatível com o sistema, uma estação base que permite à obtenção dos dados de telemetria e vídeo link em tempo real, um tripé suporte para a antena e um rádio de controle a distância. Este conjunto integrado de equipamentos formou o sistema operacional para a obtenção dos dados almejados.

Figura 12 – *md4-1000*.

As principais características técnicas do quadrotor *md4-1000* podem ser consultadas no Quadro 7.

Quadro 7 – Principais características técnicas do quadrotor *md4-1000*

Dados técnicos /Quadrotor <i>md4-1000</i>	
Rotores	4
Diâmetro das hélices (m)	0,70
Altura total (m)	0,52
Dimensões laterais (m)	1,730 x 1,730 (incluindo os rotores)
RPM	1.800 (pairando)
Motores de propulsão	<i>Brushless</i> rotadores externos (acionamento direto sem caixa de velocidades)
Diâmetro externo do Motor (m)	0,06
Controle de motor	Comutação síncrona total
CPU	2 x 32 Bits <i>Mikrocontroller</i>
Estabilização	Controle de atitude e altitude (sensores de aceleração, giroscópios, magnetômetro, pressão do ar, temperatura).

Dados técnicos /Quadrotor <i>md4-1000</i> (continuação)	
Rádio transmissor	PPM 12 canais, incluindo verificação de validade (sistema de aterragem autônoma, de emergência sobre a perda de sinal ou estado crítico da bateria)
Carga útil recomendado (g)	800
Carga útil máxima (g)	1.200
Peso vazio (g)	2.650
Peso bruto (kg)	< 5 (dependente das opções de carga)
Consumo de energia (w)	100 (pairando)
Exposição ao vento (m/s)	< 6 (sem tremer as fotos)
Fonte de alimentação	22,2 V, 6S 2P 12,0Ah ou 6S3P 18,3Ah LiPo
Tempo de voo (min.)	≤ 70 (dependendo da carga / vento / bateria)
Faixa de temperatura operacional	-10 °C... + 40°C
Umidade tolerável	Máximo de 80%
Dados de registro de voo	Gravação de mais de 80 parâmetros e leituras dos sensores, aproximadamente 125 x por segundo para cartão micro SD
Telemetria	Em tempo real transmissor de telemetria (<i>downlink</i>) para monitorar os parâmetros de voo na estação base
Razão de subida (m/s)	7,5
Velocidade de cruzeiro (m/s)	15
Máximo de impulso (N)	118
Raio de voo (m)	Remotamente até 1000, com <i>Waypoint</i> > 1000
Altura (m)	≤ 1000
Altitude (m)	≤ 4000 acima do nível do mar

Fonte: Manual do usuário do *md4 1000*.

A figura 77 do anexo B descreve suas principais dimensões.
A Figura13 apresenta outros dados técnicos que foram considerados para esta pesquisa.

Figura 13 – Dados técnicos que também foram considerados



Com relação ao sistema de coordenadas do dispositivo, referencial inercial, os ângulos de rotação são definidos como: ângulo de guinada (Ψ) em torno do eixo Z, ângulo de arfagem (Φ) em torno do eixo Y e o ângulo de rolamento (Θ) em torno do eixo X. O sistema de coordenadas da câmera depende da sua orientação quando acoplada sobre o VANT.

O drone *md4-1000* é uma plataforma de voo baseada no princípio do quadricóptero. Os rotores, enquanto pairam¹⁸, possuem a mesma velocidade. As modificações na posição podem ser obtidas alterando as velocidades de rotação dos rotores individualmente, conforme os tipos de modificações a seguir:

- Deslocamentos para frente/trás: voo pela inclinação para frente ou para trás em torno do eixo transversal que está acelerando ou freando (*Pitch*). Essa mudança no número de rotações implica na relação de empuxo entre os motores da frente e de trás, provocando, assim, movimento.

- Voo lateral: dado pela inclinação em torno do eixo longitudinal, movimento lateral (*Roll*). Muda a relação de empuxo entre os motores da esquerda e direita, provocando movimento.

¹⁸ Suspenso no ar.

- Rotação em torno do eixo vertical (*Yaw*): implica em uma mudança de relação de empuxo entre os pares de motores frente/traz e direita/esquerda.

- Deslocamento para cima e para baixo, subir/descer (*Throttle*): acontece quando o empuxo em todos os rotores aumenta ou diminui de maneira uniforme.

Ao combinar estes comandos básicos, qualquer posição poderá ser alcançada. Através da altura compensada, o controle da altitude barométrica mantém o *drone* automaticamente na altura desejada. Nesse conceito, com quatro rotores em pares e sentidos opostos, para uma mesma velocidade dos rotores, o torque é anulado. Um rotor de cauda, portanto, é desnecessário.

O *drone* e seus motores são livres de manutenção, no entanto, as baterias estão sujeitas ao desgaste. Os rotores dianteiro e traseiro giram para a esquerda enquanto que os rotores laterais giram para a direita. Ao subir os quatro rotores estão na mesma velocidade e na descida há uma redução na potência, simultaneamente. Usando o comando de ir para frente, a velocidade de rotação do rotor de trás é aumentada enquanto que no rotor da frente é reduzida na mesma proporção. No comando de virar à esquerda, o rotor direito tem a velocidade aumentada, enquanto que o da esquerda diminui na mesma proporção. O giro (*yaw*) para a esquerda, a velocidade dos rotores da esquerda e da direita é aumentada e os rotores dianteiro e traseiro a velocidade é diminuída. Dessa forma um torque é gerado a partir da rotação em torno do eixo vertical.

O *drone* é controlado a partir de dois *joysticks* no controle remoto. O *joystick* da direita dá a direção para frente e para trás (*pitch*) e para os lados (*roll*). O *joystick* da esquerda, quando deslocado para frente, aumenta a potência dos rotores e quando deslocado para trás, diminui a potência. O movimento para os lados faz com que o *drone* gire em torno de seu eixo vertical (*yaw*).

Os motores possuem 42 polos, pesam 250g e tem um diâmetro de 86mm. Motor sem escovas de rotor externo com 36 slots e 48 ímãs tem uma comutação totalmente sincronizada. Todo o controle dos motores é feito através de um sistema de CAN bus, onde cada motor tem seu próprio endereço. A interação destes componentes cria um circuito de comando que apenas a dinâmica de toda a unidade de controle permite rápidas rotações do motor e, assim, a estabilização do *drone*.

O centro do sistema eletrônico é o IMU (*Inertial Module Unit*), controle da posição com a estabilização da altura barométrica. É uma combinação de diversos sensores de intercomunicação que se fundem

em um chamado “filtro de Kalman”¹⁹. Os dois microcontroladores de 32 bits proporcionam um processamento rápido dos dados.

3.1.2 Estação base

A estação base é na realidade uma maleta ligada a um *notebook* com o *software mdCockpit* instalado e configurado, além de uma antena transmissora, conforme mostra a Figura 14. A estação base gerencia todas as etapas do voo programado ou assistido, ou seja, o planejamento, a execução e atitudes do voo. O sistema de comunicação constante faz com que permanentemente a estação base receba e envie dados ao *drone*.

Figura 14 – Estação base e antena transmissora



A estação base combina múltiplas funções, sendo que a mais importante delas é como estação receptora de vídeo e de dados de telemetria enviados pelo *drone*. Os sinais recebidos são decodificados e preparados para o uso em qualquer computador ou plataforma de trabalho, além disso, a estação base serve como unidade de carga de baterias recarregáveis.

A estação base tem uma ramificação (divisor) do sinal de vídeo com três saídas. Uma vai para o captador de vídeo, que dispõe de uma saída USB que permite enviar o sinal para um computador. Os outros dois estão em uma placa de saída RCA independente para óculos, projetor ou gravador de dados. O sinal de vídeo atende às especificações PAL, com um tamanho de 720 x 576 pixels a 25 imagens por segundo.

¹⁹ É um algoritmo que utiliza uma série de medições observadas ao longo do tempo, contendo variações aleatórias e produz estimativas de variáveis desconhecidas, que tendem a ser mais precisa do que as baseadas em uma única medição.

A segunda porta USB, *downlink*, proporciona ao computador os sinais de telemetria através de uma porta serial.

A estação base concentra todas as informações relevantes para o voo usando o aplicativo *mdcockpit*. O *decoder downlink* recebe a telemetria do *drone* e exibe todos os dados importantes quanto à voltagem da bateria, altitude, posição, atitude, duração do voo, velocidade, distância, temperatura ambiente, rotações do motor, *status* e muitos outros detalhes (CARTOGALICIA, 2010). De acordo com Cartogalicia (2010), os dados de telemetria são visualizados em um cenário virtual na tela de um *laptop* e para que o piloto mantenha o *drone* em sua visão em todos os momentos, o *mdCockpit* fornece os dados mais críticos do voo em áudio, como o estado da bateria, qualidade da posição fixa GPS, velocidade do vento e qualidade do *link* de rádio.

3.1.3 Rádio de controle – RC

O sistema de transmissão usado para comandar o *drone* no modo assistido, sugerido pelo fornecedor, é o Rádio de Controle (RC) Royal Pró 9, conforme mostra a Figura 15. Esse transmissor é equipado com um módulo sintetizador de RF (rádio frequência) que permite a seleção de qualquer canal na faixa de 35 MHz, sem alterar o cristal. A posição de seu uso pode ser ajustado e inclinado para melhor manipulação do piloto.

Figura 15 – Rádio Transmissor Multiplex Royal Pró 9 com os comandos básicos do *drone*



No Quadro 8 são apresentados os principais comandos do *drone*, por meio do RC.

Quadro 8 – Principais comandos do *drone* via rádio

Barra ativa	Função	Canal	Barra ativa	Função
Joystick esquerdo p/ baixo	Pouso	1	Joystick esquerdo p/ cima	Decolagem
Joystick direito p/ baixo	Retorno	2	Joystick direito p/cima	Avança
Joystick direito p/ esquerda	Guinada à esquerda	3	Joystick direito p/ direita	Guinada à direita
Joystick esquerdo p/ esquerda	Giro em Z p/esquerda	4	Joystick esquerdo p/ direita	Giro em Z p/direita
E - recuado	Modo seguro de GPS	5	E - avançado	Libera do sinal de GPS
F - recuado	Desliga os motores	6	F - avançado	Liga os motores
G – p/ baixo	INS	7	G – p/ cima	DPH
H - repouso		8	H - repouso	
I – p/ baixo	Desativa foto	9	I – p/ cima	Ativa foto

Fonte: Manual do usuário do *md4-1000*, adaptado pelo autor

Algumas observações referentes ao modo de operação do *drone*:

1. No canal 7 na função INS significa que o piloto irá controlar manualmente o *drone*, sem usar o auxílio do GPS. Na função **G** neutra ativa o modo “GPS Position hold”, neste modo o *drone* permanece em sua posição atual, enquanto não for comandado pelo RC. A função DPH, “Dynamic Position Hold”, **G** para cima, é uma função melhorada do “GPS Position Hold”, é uma espécie de piloto automático para o *drone*.

2. Pressionando **H** e **G** p/cima => ativa o modo *waypoint* e pressionando **H** e **G** p/baixo => ativa o modo home (retorno automático para o ponto inicial).
3. Pressionando **H** com **I** p/baixo => faz a escolha manual, através do joystick esquerdo, do ângulo de inclinação da câmera.
4. Os demais controles do RC não tem relação direta com o voo, porém servem para programação e ajustes, conforme manual específico.

3.1.4 Câmera e objetiva fotográfica

A câmera que foi utilizada nesta pesquisa, que apresentou melhor custo benefício e compatível com o sistema *md4-1000* e por estar relacionada entre as câmeras que o aplicativo *mdCockpit* reconhece, foi a Olympus EP-1, conforme mostra a Figura 16, cujas principais especificações estão descritas no Quadro 9. Essa câmera possui um sensor Live MOS de 12,3 *megapixels*, com uma gama ISO de 100 a 6400. Pode gravar imagens em RAW (12-bit de compressão sem perdas), JPEG, JPEG + RAW e salvar em cartões SDHC. Possui estabilização de imagem e uma velocidade máxima do obturador de 1/4000s e pode disparar 3 quadros por segundo. Pode, além disso, gravar vídeo em 30 fps HD (1280 (H) x 720 (V) 16:9) ou SD (640 (H) x 480 (V) 4:3 (VGA)).

Figura 16 – Câmera Olympus EP1 com a objetiva de 17 mm



Quadro 9 – Principais características da câmera Olympus EP1.

Dispositivo de captação de imagem – Câmera Olympus EP1	
Tipo de produto	4/3" sensor MOS ativo
Número total de <i>pixels</i>	Aprox. 13.060.000
Número de <i>pixels</i> efetivos	Aprox. 12.300.000
Tamanho do sensor (mm)	17,6469 x 13,2393
Tamanho do <i>pixel</i> (µm)	4,378

Dispositivo de captação de imagem – Câmera Olympus EPI (continuação)	
Relação de aspecto	1,33 (4:3)
Dimensões (mm)	120,5 (largura) × 70,0 (altura) × 35,0 (espessura); 4,7" × 2,8" × 1,3" respectivamente
Peso total (g) (câmera+ objetiva+bateria)	460
Ângulo - FOV (graus)	64,95
Velocidade do obturador (s)	1/4000 – 60

Fonte: Manual da câmera Olympus.

Observações:

1. A câmera tem capacidade de gravação consecutiva de imagens, no modo filmagem em HD, de 2GB. Então para filmagens superiores a isso se deve interromper o processo e recomeça novamente, até o limite de memória do cartão.
2. O processo de acionamento da câmera no modo filmagem começa com a regulagem da câmera para o modo desejado, aciona-se o comando de ligar a câmera em solo, depois em voo aciona-se no modo foto através do RC. Este no primeiro acionamento vai ligar a câmera, no segundo acionamento desligar como se cada acionamento fosse captar uma foto. O intervalo de tempo entre os acionamentos será o tempo de filmagem.
3. Em solo nada denuncia qual a situação que se encontra.
4. Também foram utilizados uma câmera Sony DSC-HX5V, para registros de imagens e vídeos e o GPS Etrex Vista para definição da direção de voo, no acompanhamento dos testes.

3.2 Procedimentos metodológicos

A primeira etapa consistiu de uma ampla pesquisa bibliográfica objetivando reunir informações sobre as aplicações dos VANTs para fins de investigação científica, mais especificamente o quadrotor modelo *md4-1000* com seus periféricos, bem como seu potencial de aplicação e limitações técnicas na obtenção de imagens aéreas.

Entendem-se aqui como periféricos, os equipamentos que dão suporte ao voo, tais como estação base, câmera fotográfica, antena de *videolink* e RC.

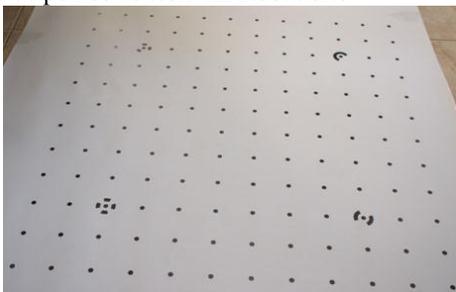
Num segundo momento, fez-se um estudo do potencial de aplicação, para isso, foram realizados testes que abrangeram desde a

operacionalização do sistema, planejamento de rotas, obtenção de imagens isoladas, faixas contínuas, obtenção de blocos de imagem, testes de capacidade até processamentos de imagens e relato de resultados.

3.2.1 Calibração o da câmera Olympus EP1

O levantamento dos dados para a calibração da câmera foi feito em laboratório com a grade de combinação de pontos padrão do aplicativo *Photo Modeler* Version: 6.2.2.596. Figura 17.

Figura 17 – Grade de pontos do teste em laboratório



Os parâmetros de calibração foram obtidos no Laboratório de Sensoriamento Remoto da UFSM (LABSERE). Os principais dados obtidos de calibração da câmera Olympus EP1, estão apresentados no Quadro 10. O relatório completo encontra-se no Apêndice A.

Quadro 10 – Parâmetros de valores de calibração em laboratório

Câmera fotográfica Olympus EP1	Resultados obtidos	
Distância focal (mm)	17,0097	
Tamanho do sensor (mm)	17,6469 x 13,2393	
Ponto principal	8,9665 (x); 6,6327 (y)	
Parâmetros da função radial de distorção	K1	2,045e-004
	K2	-4,851e-007
	K3	0,000e+000
Parâmetros de descentramento da função distorção	P1	-8,973e-005
	P2	3,603e-005

O estudo das características da câmera fotográfica com a objetiva de 17 mm do Quadro 10 levou a confecção da Tabela 1.

Quadro 11 – Especificações da objetiva fotográfica

Distância focal (mm)	17 mm
Abertura do diafragma	f 2.8 - 22
Angulo de abertura	64,90
Alcance (m)	0,2 - ∞
Peso (g)	71
Diâmetro da rosca do filtro (mm)	37

Fonte: Manual da câmera Olympus.

Tabela 1 – Relaciona a altura de voo com as dimensões do quadro da imagem sua área, escala e resolução

Altura de voo (m)	Comprimento Da imagem (m)	Largura da imagem (m)	Área (m ²)	Escala (aproximada)	Resolução (mm)
0,36	0,34	0,25	0,087	1/21	0,088
0,80	0,79	0,60	0,474	1/47	0,195
1,83	1,90	1,30	2,47	1/108	0,446
2,91	2,90	2,03	5,88	1/171	0,710
6,15	5,80	4,00	23,20	1/362	1,500
14,00	14,2	9,94	141,20	1/823	3,415
19,20	19,3	13,51	260,74	1/1.130	4,684
29,00	29,0	20,30	588,70	1/1.706	7,075
50,00	50,0	35,00	1.750	1/2.940	12,198
100,00	100,0	70,00	7.000	1/5.880	24,395
150,00	150,0	105,00	15.750	1/8.825	36,593
200,00	200,0	140,00	28.000	1/11.765	48,791

3.2.2 Treinamento de voo

Com o objetivo de ganhar alguma habilidade com controles remotos via rádio para voos assistidos, foram utilizados dois modelos de helicópteros rádio controlados: um modelo *Lama 4*, e outro *Hawk eye*. Para este aprendizado buscou-se também experiências transmitidas por operadores de aeromodelos locais.

As primeiras noções de operação do equipamento surgiram após estudos e analogias com aeromodelos tradicionais, concomitante a isso leituras e observações de vídeos relacionados.

3.2.3 Área de treinamento de voo

A área principal escolhida para os testes abrangeu um espaço físico da Universidade Federal de Santa Maria, com aproximadamente um quilômetro de raio. O centro desta área está representado na Figura 18, por um “alvo” em um retângulo branco de 1,00 x 0,60 m e raio do círculo maior de 0,29 m, cuja coordenada no centro são:

-29,7228724471° latitude sul e -53,7488761681° longitude oeste.

Este alvo foi utilizado como orientação de decolagens e pousos e confrontações de medidas. À medida que os testes evoluíam foram escolhidas outras áreas, de modo que se puderam reunir experiências de levantamentos em áreas bem diferenciadas.

Figura 18 – Centro da área de estudo “alvo”



3.2.4 Trabalhos em laboratório

Primeiramente, instalou-se o aplicativo que gerencia todo o sistema, o *mdCockpit*; este na sua primeira execução criou as três pastas previstas no seu diretório de dados, ou seja, as pastas cujas funções são:

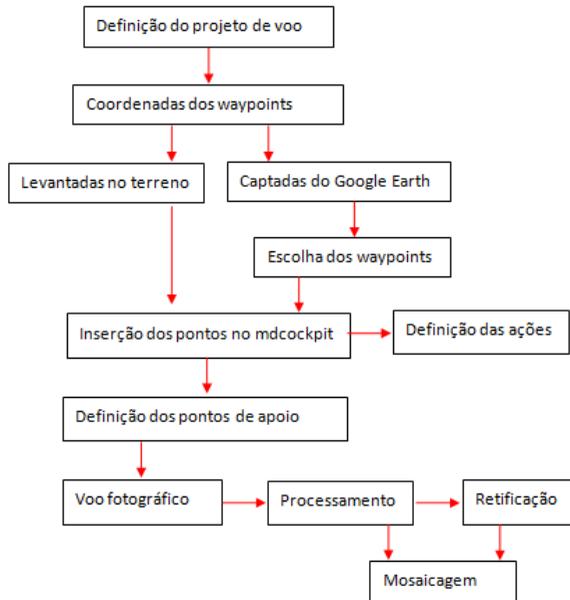
- 1- *Waypoint Projects* => armazenar, criar e verificar arquivos de rotas.
- 2- *Downlink* => armazenar e transmitir o sinal de telemetria em tempo real.
- 3- *Cardfile* => receber todos os dados do gravador de voo, reproduzir o voo e fazer as leituras.

As demais atividades desenvolvidas em laboratório passaram por etapas que podem ser classificadas como de pré-voo e pós-voo.

3.2.5 Pré-voos

O fluxograma da Figura 19 dá uma síntese das atividades que envolvem a metodologia dos trabalhos relativos ao levantamento de dados de uma missão fotográfica no modo autônomo com o quadrotor *md4-1000*.

Figura 19 – Fluxograma de atividades da missão fotográfica



A checagem do material antes e durante a ida a campo é de fundamental importância, pois qualquer item que deixa de ser averiguado pode comprometer o sucesso da missão. Para facilitar esses procedimentos construiu-se o Quadro 12, que apresenta uma lista dos principais equipamentos e seus itens de checagem antes de ir a campo.

Quadro 12 – Equipamentos e itens de checagem

Equipamento	Item de checagem
Estação base	Checar bateria da estação (carga acima de 70%) Cabo <i>downlink</i> Cabo <i>fireware</i> Cabo de alimentação Cabo de imagem e som Cabos USB (2) Antena Bateria da antena (carga acima de 70%) Tripé (dispositivo para fixar a antena)
Rádio	Checar bateria (tensão entre 7,5 a 8,2 volts) Antena Checar posição dos botões de comando
<i>Drone</i>	Checar bateria (Lipo, tensão entre 23 a 25 volts) Checar GPS Checar programação de voo Cartão do <i>drone</i> Chaves (RDIF)
Câmera	Checar carga da bateria Objetiva (tampas, limpeza) Parafuso de fixação Arruela acrílica Cartão de memória Posicionamento, modo de funcionamento/ligar

Obs.: a bateria LiPo do *drone* é composta por 6 células individuais e tem uma tensão nominal de 22,2 volts e 5 A com capacidade de 12 h. A máxima tensão de carga é de 25,2 V; 4,2 volts cada célula. Portanto a carga para decolagem deve estar nesta faixa.

3.2.5.1 Editor de *waypoints*

O editor de *waypoint* (*mdCockpit*) é a forma mais prática que permite planejar voos para posterior execução automática. Essa função, por padrão, é incluída no sistema e subentendido que já esteja equipado com GPS. Os voos projetados no editor *waypoint* são arquivos ASCII que podem ser salvos e usados quando se desejar. São introduzidos ao *drone* através de um *link* serial padrão através da entrada FC (*Flight Controller*).

Embora não seja obrigatório, o processo de planejamento de voo é bastante simplificado com a ajuda do *Google Earth*, pois o editor de *waypoints* oferece uma gama de funções para interagir com ele. Além disso, a visualização do trajeto de voo no *Google Earth* evita erros nas coordenadas, protegendo o *drone* de possíveis colisões com os obstáculos, aumentando, assim, a sua segurança. O editor de *waypoint* não está limitado ao *Google Earth*, sendo que é possível utilizar qualquer imagem que permita ser georreferenciada; também se podem utilizar imagens tomadas pelo próprio *drone* e empregar as coordenadas de navegação do momento da tomada. Depois de transformadas em formato BMP, podem-se carregar no editor e situá-las na posição e escala.

3.2.5.2 Planejamentos de rotas

O planejamento da rota baseou-se nas rotinas recomendadas e editadas pelo fabricante do equipamento, baseadas na aplicação de imagens georreferenciadas no editor de *waypoints*. Estas imagens foram importadas diretamente do *Google Earth*. (considerados os erros de posicionamento inerentes às imagens do Google).

O sistema de edição *waypoint* é prático e sua base é construída com uma estreita integração ao *Google Maps*. Tendo-se acesso à internet, não se precisa de qualquer outro mapa para a edição de listas de *waypoint* para operações de voo autônomo. Se for o caso de utilização de outras fontes, é possível importar estas e georreferenciar como base para o planejamento de missão. A ferramenta de planejamento de *waypoint* é abrangente e tem muitas rotinas automatizadas como, por exemplo: fazer plano de voo para projetos de mapeamento rápido. Essa rotina pode ser configurações do sensor, sobreposição percentual, configurações, área e assim por diante. Em seguida, o sistema calcula uma lista de *waypoints* com os comandos para o controle da câmera e do voo. O projeto é enviado para o *drone* e estará apto a ser executado.

O estudo e o planejamento da rota bem como as configurações que foram inseridas, também fizeram parte de um delicado trabalho de pré-voo. Nesta etapa foram planejadas várias rotas de passagem do *drone*, porém nenhuma executada.

Há também a opção de incluir *software* desenvolvido para imagens *geotagging*, usando as informações EXIF integrada em todas as imagens digitais. Quando essas informações são armazenadas com a imagem, é fácil integrar a imagem diretamente em sistemas de GIS, muitos incluídos no *Google Earth*. O decodificador de *downlink* do

mdCockpit também é uma ferramenta com muitas opções para o controle da missão; monitoramento dos dados do sensor, situação da bateria, coordenadas e precisão do GPS, qualidade do *videolink*, qualidade do sinal RC, tempo de voo, altitude de voo, velocidade do vento, distância do equipamento em relação ao ponto inicial e outros dados importantes para a segurança das operações. Em suma, o sistema dá a possibilidade de o operador acompanhar o voo no monitor de vídeo em tempo real.

O *mdCockpit* permite ao operador garantir a cobertura direta da imagem ou fazer diretamente o monitoramento. O sistema também pode operar com óculos de voo, onde o operador recebe os sinais de vídeo para melhor conduzir o *drone* e posicionar a câmara da maneira mais adequada. Também é possível monitorar a posição do *drone* no mapa em tempo real e atuar no monitoramento e análise de questões técnicas de voos durante ou após o voo desta forma, monitorar problemas técnicos. Estas ferramentas dão suporte para aprender e compreender as operações do sistema.

Os registros de voo podem ser facilmente enviados por correio eletrônico, facilitando assim o suporte de apoio técnico. Essa ferramenta contribuiu muito para que se tenha apoio e orientação do suporte técnico, ou seja, possibilita compreender o *status* e dar instruções sobre como corrigir problemas *online*. Uma vez que todos os dados do voo são registrados no cartão SD na forma de relatório de voo as verificações do comportamento do sistema pode ser analisadas até em centésimos de segundo. Por inúmeras vezes foi contatando com suporte técnico que se resolveu problemas de voo.

As rotas programadas de voo são arquivos ASCII que podem ser armazenadas no disco rígido ou em qualquer outro dispositivo de armazenamento acessível. Para poder realizar voos autônomos baseados na “navegação por *waypoint*”²⁰, o *software mdCockpit* inclui um traçado de rotas. Seu funcionamento permite o traçado ou modificações rápidas das rotas anteriores, clicando com o mouse nos pontos desejados.

Para facilitar o planejamento de rotas, o editor de *waypoints* do aplicativo *mdCockpit* oferece a capacidade de exibir imagens em segundo plano e facilidades para o georreferenciamento. Pode ser uma imagem importada do Google EarthTM, tomadas pelo usuário, uma imagem previamente capturada pelo *drone* ou alguma imagem georreferenciada qualquer. O *mdCockpit* somente importa imagens BMP.

²⁰ Navegação autônoma por pontos previamente selecionados.

Nesta pesquisa, o planejamento das rotas baseou-se nas rotinas recomendadas e editadas pelo fabricante do equipamento, com a aplicação de imagens georreferenciadas no editor de *waypoints* e planejamento por inserção de pontos previamente levantados. As imagens georreferenciadas foram importadas diretamente do *Google Earth*. Embora não fosse necessário o uso do *Google Earth* oferece uma “lincagem” direta para interagir com as funções *mdCockpit* simplificando consideravelmente do processo de importação e de georreferenciamento de uma imagem. No caso de planejamento de rotas por inserção de pontos previamente levantados tem-se que levar em conta o modo de apresentação em geográfica decimal.

Para rotas apoiadas nas imagens do *Google Earth* o processo consistiu em carregar várias imagens sobrepostas ou adjacentes formando um mosaico georreferenciado da área pretendida. Esta captura de imagens é referenciada inicialmente por um ponto previamente definido próximo a área de interesse. Depois de considerados os parâmetros para o planejamento do voo do equipamento, conforme Quadro 6 (principais características técnicas do *drone*) e levando-se em conta as seguintes considerações:

- a) As condições climáticas, carga da bateria, altura de voo, feições topográficas do terreno, época em que a imagem foi planejada;
- b) Obstáculos naturais e artificiais que margeiam a rota e relevância de erros pelas coordenadas GPS na rota de voo;
- c) Otimização da carga das baterias e tempo de permanência no ar;
- d) Ações nos *waypoints* (Para cada ponto de interesse, se pode estabelecer ações que o *drone* deverá executar. Os ângulos de inclinação da câmera podem variar de 00^0 (câmera horizontal) a 90^0 (câmera vertical). Entre as principais ações que podem ser estabelecidas nos *waypoints* estão as obtenções de fotos.

Se o planejamento da rota for feito em cima de uma sequência de coordenadas conhecidas, estabelecendo um polígono predefinido, deve-se passar pelos pontos de interesse, captar suas coordenadas e posteriormente em escritório fazer o planejamento. Levar em consideração que o sistema opera com coordenadas em graus decimais separados por ponto, portanto para facilitar o planejamento, procurar sempre deixar os coletores de coordenadas no sistema utilizado. O envio da rota de voo criada no *mdCockpit* para o *drone* é feito, seguindo a sequência: primeiramente com a conexão FC, colocar a bateria, aguardar cinco segundos, ligar a chave RDIF; clicar no botão *Waypoint*

Script de carga (em linha) e “carregar *script* de carga em linha”; ativar o código de *waypoint*.

3.2.5.3 Parâmetros para o planejamento de rotas

No caso do *drone md4-1000*, o planejamento de rotas é feito em um *software* específico. Normalmente os parâmetros para o planejamento do voo com câmeras digitais são: altura, GSD (*Ground Sample Distance*), escala, velocidade da aeronave, pontos de controle, pontos de paragem, pontos de aquisição de imagem, pontos de cruzamentos, distância focal, recobrimentos, ponto de início e final de uma linha de voo e ponto de retorno. Para um planejamento mais seguro, é importante que o planejador leve em considerações as seguintes observações:

- a) Conhecer a área, saber sobre seus obstáculos, para voar em uma altura segura;
- b) Saber das condições do equipamento;
- c) Levantar em conta as limitações para a navegação (ventos, carga útil, autonomia do voo, navegação autônoma ou assistida);
- d) Planejar sempre com uma margem de segurança;
- e) Considerar as dimensões apropriadas das áreas a serem recobertas, levando em consideração comportamento em mais de uma faixa, recobrimentos longitudinal e lateral, nível de voo, obtenção das imagens, ponto de parada;
- f) Tomar informações meteorológicas do dia do voo para saber se a missão é executável, pois as vibrações levam a um consumo adicional de energia e redução do tempo disponível de voo, isso sem considerar que afetar a qualidade das imagens.

Observações:

- 1) Os sistemas de estabilização do *drone* estão em constante funcionamento e reagem as mínimas variações atmosféricas, portanto além da carga da bateria para cumprir a rota, deve-se levar em conta a energia gasta para mantê-lo estável.
- 2) Nos atuais sistemas de VANTs, o planejamento da rota é geralmente realizado por um operador humano. O ideal é que o operador humano tenha alguma experiência na aviação, pois o processo de planejamento da missão é geralmente demorado e meticuloso. Treinados na aviação implica que o operador tem conhecimento de

planos de missão, que serão conduzidas sob-regras de condições de voo visual (VFR).

- 3) As vibrações são um sintoma de um problema e não os problemas em si, são uma consequência inevitável da rotação dos motores. O *drone* tem a capacidade de voar mesmo com severas vibrações, mas o consumo de bateria vai aumentar, reduzindo a duração do voo, bem como afetar a qualidade das fotografias.

O Quadro 13 apresenta uma síntese dos parâmetros que devem ser levados em consideração para um planejamento de voo seguro de um quadrimotor.

Quadro 13 – Principais parâmetros para o planejamento de voo de um quadrotor

Parâmetros do projeto	
Altura de voo/GSD – resolução da imagem (B)	
Rec. Longitudinal/Rec.lateral (%)	
Escala final da imagem	
Câmera	
Distância focal, modo de disparo	
Formato da imagem	
Parâmetros do sistema VANT	
Pontos de aquisição de imagem:	
	ponto de início
	pontos de parada
	pontos de cruzamento
	ponto de retorno
Modo de voo:	
	Autônomo
	Assistido
Velocidade do VANT	

Na resolução da imagem foi considerada a Equação 12:

$$B = \frac{b \cdot H \cdot v}{f} \quad (12)$$

Onde B é a resolução (GSD), b é o tamanho do pixel, $H \cdot v$ é a altura do voo e f é a distância focal da câmera.

3.2.6 Voo no modo assistido

Modo assistido, também denominado modo controlado, é normalmente utilizado quando tratar-se de alvo dinâmico e necessita do acompanhamento do piloto, o qual deverá desenvolver habilidades exigidas pelo modo, ter conhecimento da legislação pertinente e conhecimento das limitações do equipamento, tais como: tempo de permanência no ar, alcance do rádio, sinais de alerta, alterações climáticas, conhecimentos dos sensores embarcados e tempo de carga das baterias.

Para alvos estáticos, mesmo com um piloto experiente controlando o sistema, tentando voar duas linhas de voo paralelas, sem estabilização é praticamente impossível voar uma configuração de blocos precisos. Os modos de voo assistidos são classificados em: INS, *GPS Position Hold* e *Dynamic Position Hold* (DPH).

Como a maioria dos testes foram feitos sem o apoio da estação base, o recurso que se utilizou foi de obter várias fotos do local de interesse, disparando-se o obturador manualmente. Este recurso pode ser facilitado programando-se a câmera fotográfica no modo intervalômetro os disparos acontecerão por um intervalo de tempo regular que registrará as sequências de imagens conforme programado. No *drone*, quando a câmera estiver programada nesse modo e for disparada pelo RC por acionamento da chave “I”, os registros fotográficos continuam sendo capturados a uma taxa de um quadro por segundo, até a interrupção do processo, através de outro disparo por RC. Isso garante imagens consecutivas e pares estereoscópicas, porém os registros dos metadados correspondentes só serão relativos à primeira imagem e a última imagem. Ou seja, só acontecem os registros dos metadados relativos às fotos que foram interferidas pelo RC.

3.2.6.1 Modo INS (*Inertial Navigation System*)

Neste modo, o piloto controla manualmente o *drone*, sem usar o modo “*GPS position hold*” ou o modo “*Dynamic Position Hold* (DPH)”, por isso requer uma muita habilidade e experiência, já que não há controle automático de posição. O piloto controla o tempo todo contra o vento e deve responder a qualquer influência indesejada por este. Isto requer muito cuidado e manuseio seguro do controle do *drone*. É recomendado que o controle direto do ângulo de horizontalidade pelo *joystick* deve ser usado apenas por pilotos experientes e aplicadas apenas em casos excepcionais. Se utiliza este modo como um

procedimento excepcional, apenas no caso de um sinal de GPS inexistente ou muito ruim, tornando-se a única maneira de voar em cenários onde um início é inevitável sem o sinal de GPS. Neste caso, o *drone* irá executar a decolagem e continuar o rastreamento do sinal GPS em voo.

O sistema, por razões de segurança não libera a partida dos motores, no modo INS, então usa-se a chave de desbloqueio por alguns segundos para permitir a partida dos motores, este procedimento é alertado por um sinal sonoro, isto permite a decolagem sem o sinal, porém após a decolagem o sistema buscará o sinal para conduzir o voo apoiado por GPS.

Em todos os outros modos, o apoio ao voo é baseado em um bom sinal de GPS.

3.2.6.2 GPS *Position Hold*

Neste modo o *drone* permanece em sua posição atual, enquanto não for comandado pelo RC. Conserva a posição atual no ar sem a interação do piloto, apesar da influência do vento. O piloto, portanto, pode focalizar-se completamente nas operações de manuseio da câmara, não precisando controlar a posição em paralelo.

Para sair da posição, necessita de um leve movimento do *joystick* da posição neutra. Neste ponto, muita cautela é aconselhável, pois pode acontecer de, se o *drone* está no vento e posicionado por GPS, o equipamento controla automaticamente contra o vento. Ao deixar esta posição, de conservação por GPS, o piloto deve conduzir-se no vento, dependendo da força do vento deve ser combatido fortemente. Um erro comum neste momento é que o piloto não reaja suficiente contra o vento. Quando não reage o suficiente, o *drone* vai voar com vento é soprado por ele e o piloto inexperiente pode liberar o *joystick*, o *drone* retorna a posição de conservação, porém, já está mais distante. Se este processo é repetido várias vezes, o *drone* pode ser soprado para muito longe.

3.2.6.3 *Dynamic Position Hold* (DPH)

Esta é uma função melhorada do “GPS *Position Hold*”, é uma espécie de piloto automático, que não pode-se ser confundida com a função *Waypoint*. No modo DPH, o controle de posição é feito por GPS, porém quando sai da posição, o piloto não necessita fazer atividades contra o vento o sistema faz as devidas compensações e o

equipamento é controlado sem a interferência do vento. Quando o piloto movimenta o joystick o controle do *drone* é feito através do espaço GPS que constantemente manterá o *drone* equilibrado de desvios involuntários.

3.2.6.4 Posição estática

Nesta situação o *drone* fica posicionado em um ponto determinado e mantém esta atitude através do modo *position hold*, fixa em relação ao solo. Neste modo pode-se escolher obter imagens verticais deste ponto, bem como imagens panorâmicas em diversos ângulos de inclinação, bastando para isso que seja comandado através do RC. Na aplicação imobiliária, este modo permite a avaliação da paisagem, incidência solar, ventilação, exposição a ruídos, análise de potencial de energia solar, captação de ondas eletromagnéticas, acesso a redes de transmissão, inspeções aéreas, entre outros. Também esta disposição permite o levantamento de detalhes arquitetônicos nos mais diversos níveis de altura e ângulo possibilitando assim obtenção de imagens panorâmicas em vários pontos de observação.

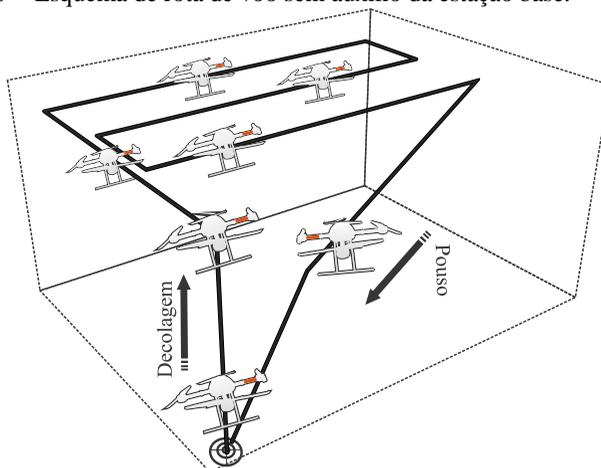
3.2.6.5 Recobrimentos longitudinais e laterais (faixas de voo)

Considerando que para o estudo ambiental detalhado necessita-se de imagens de alta resolução obtidas em “escala grande” e que as imagens nessas condições normalmente abrangem áreas pequenas; que o quadrotor *md4-1000* no modo assistido tem as peculiaridades de decolagem vertical, voo reto e nivelado e deslocamentos laterais em ângulos precisos de 90^0 , então se usou destas características para comandar, via radiocontrole (RC), o *drone* e os disparos do obturador da câmera fotográfica.

O processo consistiu em primeiramente definir a área de interesse, deslocar-se até uma clareira próxima que servisse de ponto de decolagem; esta tinha como exigência que a vegetação rasteira não ultrapassasse a 0,35m de altura para evitar o contato com as hélices. Instalava-se um alvo de referência, posicionava-se o *drone* no sentido da faixa que iria executar orientado por uma bússola ou pelo GPS Etrex Vista e procedia-se a decolagem que controlada por RC levaria o *drone* até uma altura estimada, como já estava na direção de execução da faixa de voo, o passo seguinte consistia em deslocá-lo lateralmente em ângulos de 90^0 sobre a área de interesse. A partir desse momento deslocava-se o *drone* no sentido longitudinal e deixava-se que se

estabiliza-se para se obter a imagem na condição de vertical. Para recobrimentos em faixas laterais ou em escala maior utilizou-se o mesmo procedimento, com o *drone* operando no mesmo sentido, deslocado lateralmente, porém em sentido contrário, “ré”. O processo repetia-se até que completasse o recobrimento necessário e o equipamento fosse conduzido ao pouso. A Figura 20 esquematiza o procedimento completo.

Figura 20 – Esquema de rota de voo sem auxílio da estação base.



Os procedimentos foram efetuados por 17 vezes em datas e locais distintos, conforme Tabela 3. O objetivo da repetitividade foi de verificar o cumprimento do recobrimento fotográfico por faixas de voo no modo assistido por comandos de RC, a fim de se buscar nos dados do relatório de voo e nos dados de imagem seu comportamento ao longo do recobrimento por faixas fotográficas.

Tabela 2 – Número do voo, data e local, horário da decolagem e altura média relativa às faixas de voo executados

Voo	Data/Local	Decolagem hora (Z)	Altura Média (m)	Varição (m)
Flight #82	15/02/2012 Novo Horizonte	11:20	82,06	0,31
Flight #86	03/03/2012 Área Politécnico – Fx1	13:27	107,99	0,79
Flight #86	03/03/2012 Área Politécnico – Fx2	13:27	106,10	0,23
Flight #93	17/03/2012 Área Pinus	15:50	94,84	0,56
Flight #94	31/03/2012 Área pinus	13:35	123,40	0,56
Flight #98	16/04/2012 Silveira Martins –Fx1	14:12	76,79	0,42
Flight #98	16/04/2012 Silveira Martins- Fx2	14:12	17,25	0,35
Flight #99	18/04/2012 Silveira Martins - Fx1	17:22	140,47	0,16
Flight #99	18/04/2012 Silveira Martins- Fx2	17:22	144,33	0,26
Flight #99	18/04/2012 Silveira Martins- Fx3	17:22	76,43	0,73
Flight #100	27/04/2012 Arroio do viado- Fx1	14:10	120,01	0,35
Flight #100	27/04/2012 Arroio do viado- Fx2	14:10	84,32	0,21
Flight #100	27/04/2012 Arroio do viado- Fx3	14:10	111,89	0,30
Flight #102	30/04/2012 Arroio do viado- Fx1	14:18	189,38	1,20
Flight #102	30/04/2012 Arroio do viado- Fx2	14:18	116,54	0,68
Flight #103	05/05/2012 Área Pinus- Fx1	13:35	86,24	0,13
Flight #103	05/05/2012 Área Pinus- Fx2	13:35	104,35	0,14
		Variação média (m)		0,44

Esta metodologia foi à alternativa encontrada para o levantamento de imagens consecutivas com recobrimentos longitudinal ou lateral, sem as informações de telemetria e *dawlink* proporcionadas pela estação base.

Ob: Todas as mudanças de direção aconteceram nos ângulos de 90° ou de 180°.

3.2.7 Voo no modo autônomo

No modo autônomo, o piloto deverá programar o sistema de forma que o equipamento cumpra as especificações previstas no planejamento do voo, também levando em consideração as limitações do equipamento descritas no modo assistido.

A maioria dos sistemas autônomos é estabilizada, com isso pode-se esperar que a trajetória de voo dos sistemas autônomos seja mais estável. No aplicativo *mdCockpit* planeja-se a trajetória de voo usando a função *waypoint*, com isso se pode voar uma sequência pré-definida de posições (posição GPS, altura e direção), para realizar tarefas de imagens levantadas automaticamente. A ativação desse modo é feita através do RC ou na própria programação de voo, no aplicativo *mdCockpit*. Pré-requisito para isso, é que a rota de um *waypoint* esteja gravada no cartão SD do *drone*. Também através do RC, o comando da rota pode ser alternado entre manual onde o piloto comanda o *drone* ou autônomo e o *drone* volta à trajetória programada interrompida.

Para que o *drone* cumpra com esses modos de voo, é fundamental que os sistemas de controle a bordo estejam funcionando e estejam calibrados.

Assim, para a automação do fluxo de trabalho, a orientação de valores provenientes das unidades de navegação pode ser usada como aproximação para a orientação da imagem e para a produção rápida de imagens de síntese. A influência do modo de voo, tais como parar ou cruzar por pontos, também fez parte da pesquisa. Desse modo, para a avaliação da exatidão da trajetória de voo do VANT, os seguintes componentes do sistema devem ser analisados: a montagem, a sincronização e a calibração do GPS, INS, barômetro, bússola e câmera, bem como a orientação inicial da unidade e resposta à estação de controle de terra.

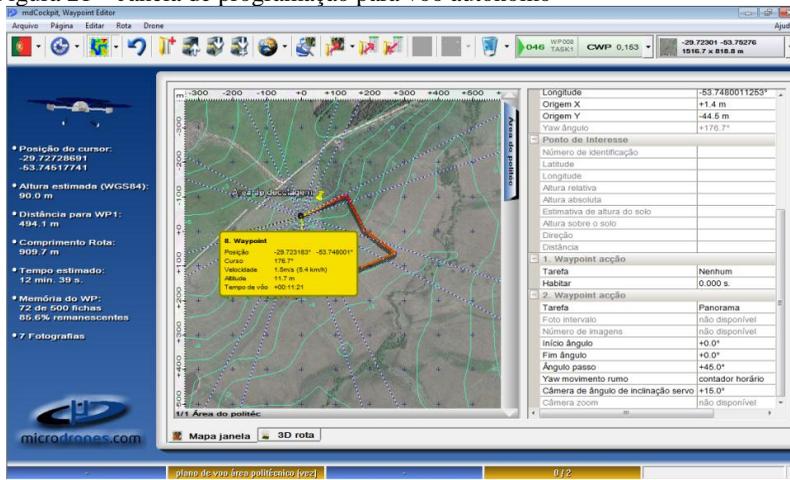
3.2.7.1 Função panorâmica

A forma de obtenção de imagens no modo panorâmico possibilita explorar uma determinada área com obstáculos, onde o acesso pelo ar é o mais apropriado. Muitas são as vantagens desse modo, porém a maior desvantagem é que não se tem uma escala fotográfica homogênea.

As imagens panorâmicas podem ser obtidas por processo manual de pontos, alturas e ângulo da câmera escolhidos pelo operador ou por processo autônomo programado para isso, na posição e altura pré-estabelecida. No processo autônomo o *drone* irá atingir o *waypoint*

programado obter imagens panorâmicas simples ou em torno de seu eixo vertical obtendo tantas imagens quantas programadas pelo “passo do ângulo” em posições diferentes e ângulo de inclinação pré-definido em um giro de 360°. Nesse processo, as imagens se recobrem lateralmente, conforme as especificações da câmera utilizada. A abrangência do recobrimento poderá ser estabelecida conforme altura de voo e inclinação da câmera. Também se pode definir a quantidade de fotos em cada posição e ângulo inicial da posição em relação ao norte, considerando sempre que se deve estabelecer um mínimo de 5 segundos de acréscimo de tempo de voo para cada imagem programada. A programação para essa situação pode ser observada na Figura 21.

Figura 21 – Janela de programação para voo autônomo



A animação interativa com o recobrimento total pode ser desenvolvida em *software* de programação visual. Nessa aplicação, é possível clicar e mover o *mouse* para esquerda e direita para se obter detalhes específicos da imagem em qualquer posição.

A disposição de uma imagem, tomada em um entorno de 360° pode ser uma excelente opção para o cadastro 3D, ou fazer parte do memorial descritivo do empreendimento antes de sua construção. O equipamento permite a obtenção de imagens em várias disposições.

3.2.7.2 Geotagging

A *geotagging* é o processo de adicionar metadados geográficos à identificação de várias mídias, tais como fotografias, vídeo, *sites* e mensagens. É uma forma de metadados geoespaciais. Esses dados consistem geralmente em latitude e longitude, embora possam incluir também a altitude, direção, distância, nomes de lugares, data, hora, entre outros. É comumente usado para fotografias, originando as fotografias georreferenciadas. A *geotagging* pode ajudar os usuários a encontrar uma grande variedade de informações específicas da localização, sendo que é possível encontrar imagens obtidas perto de um determinado local pela latitude e longitude, por meio de um motor de busca de imagem adequado. Vale destacar que nesse trabalho, foi utilizado o programa Picasa.

A *geotagging*, habilitada para serviços de informação, também pode potencialmente ser usada para “plotar” características baseadas em localização e informações peculiares, *sites* ou outros recursos; pode informar aos usuários a localização do conteúdo de uma determinada imagem e ser associada a outras geocodificações relacionadas e baseadas em identificadores geográficos, tais como um endereço de rua e coordenadas geográficas (ou vice-versa para a geocodificação reversa). Essa técnica oferece a facilidade da procura de alternativas. A Figura 22 exemplifica uma *geotagging*, onde a foto foi obtida de um voo específico, o qual foi lançado no *Google Earth*. O metadados extraídos do ponto correspondem à Figura 23 obtida pelo *drone*.

Figura 22 – Imagem do *Google Earth*.

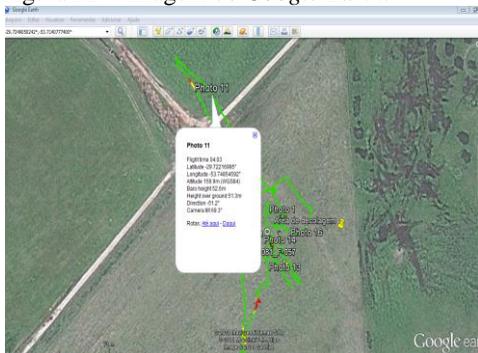


Figura 23 – Obtida pelo *drone*



3.2.7.3 Montagem de mosaicos

É muito comum se obter, por este tipo de plataforma, uma série de imagens isoladas panorâmicas ou verticais com algum recobrimento, de modo que após processadas em *software* específico reconstituam a cena toda.

Neste trabalho o item 4.10, Mosaicagem, ilustra os procedimentos e os resultados encontrados.

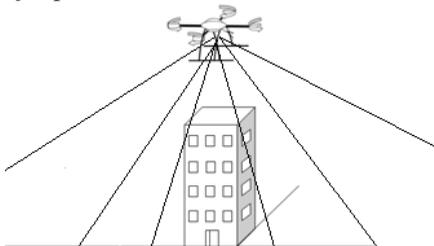
3.2.7.4 Inspeções aéreas

Em algumas situações, identificou-se o potencial do *drone* como plataforma para investigações aéreas, principalmente se este estiver apoiado à estação base, pois se podem fazer aproximações controladas com segurança, inspeções meticolosas no cenário de interesse, filmagens ou fotografias e retornar em segurança a um ponto desejado ou ponto de partida. Os principais equipamentos detectores para isso são a câmera fotográfica e a vídeo câmera, porém pode-se ainda utilizar câmeras infravermelhas, sensores térmicos, entre outros, desde que seu *payload*²¹ não ultrapasse o recomendado pelo fabricante. Essas imagens são recomendadas para o georreferenciamento de pontos de difícil acesso.

Como pode girar em torno do seu eixo vertical, também pode imagear nessa situação, obtendo fotos que, sobrepostas ou não, possibilitarão a observação em torno de 360° de qualquer ponto de interesse específico, conforme a simulação da Figura 24.

A disposição em torno de um giro de 360° possibilita o levantamento do entorno em variadas posições azimutais, permitindo assim avaliar os impactos visuais que uma construção poderá sofrer ou provocar e proporcionar uma imagem fotorrealista do ambiente.

Figura 24 – Disposição para levantamentos no entorno de 360°



²¹ Capacidade de carga de uma aeronave.

3.2.8 Pós-voo

Os trabalhos do pós-voo começaram com o recolhimento dos equipamentos de apoio e retorno ao laboratório. Consistiram em recolhimento dos acessórios, análise do voo através do cartão SD, análise das gravações dos dados no *dawlink* (isto aconteceu até o voo #49, depois o sistema deixou de funcionar), descarga das imagens, verificação dos relatórios de voo e rota de passagem e recarregamentos das baterias.

Depois da execução do voo, através do aplicativo no modo de leitura de cartão, foi possível verificar a rota executada no Google Earth e analisar as passagens. Estes arquivos podem ser salvos ou enviados, juntamente com as fotos obtidas em suas respectivas posições.

3.2.8.1 Processamentos de dados

As atividades de processamento de dados pós-voo começavam pela leitura dos cartões: cartão SD do voo e cartão SD da câmera fotográfica. Na leitura do cartão de voo um arquivo de dados relacionado ao voo realizado é baixado e analisado minuciosamente. Os principais dados analisados são: dados de telemetria, rota de voo, relatório específico dos componentes, relatório dos acionamentos manual de captura de imagens e visualização da rota executada no *Google Earth*. Um exemplo destas informações pode ser consultado no Apêndice C, telas de gravação de dados.

Na estação base, no modo *downlink* visualiza-se as imagens captadas com seus respectivos metadados. No cartão da câmera fotográfica, as imagens de interesse, no cartão de voo, as informações de atitude de voo correspondentes a estas imagens. Após uma prévia seleção e verificação de correspondências, estas são processadas para junto com seus metadados serem utilizadas em processamentos. Os aplicativos computacionais utilizados neste trabalho foram: Photo Filtre e Hugin (mosaicagem), Erdas LPS (restituição fotogramétrica e ortoretificação), Photomodeler (calibração da câmera fotográfica), Excel (cálculo das distâncias).

3.2.8.2 Georreferenciamento

O georreferenciamento das imagens, de uma forma imediata, pode ser feito por coordenadas obtidas de maneira direta ou indireta, conforme estão descritas no Quadro 14. Pode-se observar que na captura direta através da estação base Figura 25, apresenta os registro direto dos metadados, enquanto que na imagem à direita Figura 26, os metadados

só serão obtidos no pós processamento ou se o relatório de voo for lançado pelo *mdCockpit* no *Google Earth*.

Figura 25 – Imagem capturada pelo modo de captura de imagens do *mdCockpit*.



Figura 26 – Imagem tomada no modo manual do RC.



Com o sistema de *videolink* funcionando, quando acionado o obturador pelo RC a imagem também fica registrada em um arquivo de dados do computador chamado de *downlink*. Nesta pasta, a imagem carrega os mesmos metadados que estão sendo transmitidos por telemetria.

O georreferenciamento feito diretamente pelas coordenadas do centro da fotografia com a informação da rotação de voo dado pelo arquivo do *mdCockpit*, ficou 30% menos preciso que o mesmo georreferenciamento feito com as coordenadas do centro da fotografia porém rotacionado referenciado pelo *Google earth*. Com isso temos duas formas de georreferenciar a imagem através de sua coordenada central que precisam ter suas precisões mais investigadas.

A figura 27 apresenta um exemplo de mosaico georreferenciado no aplicativo SIG ArcGIS® 9.2 (licença do Colégio Politécnico da UFSM) onde utilizou-se o sistema de projeção UTM Zona 22 Sul e Datum SIRGAS 2000, a partir de pontos de apoio levantados no terreno pelo sistema RTK.

Figura 27 – Mosaico georreferenciado de um fragmento da área urbana do município de Silveira Martins- RS

Figura 27 – Mosaico georreferenciado de um fragmento da área urbana do município de Silveira Martins- RS

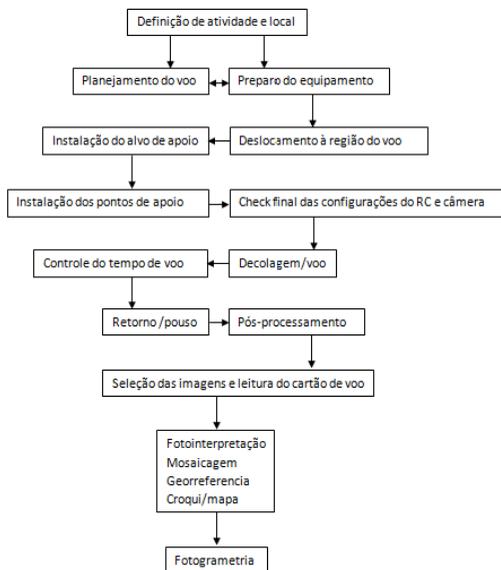


Obs.: O símbolo ⊗ indica pontos cotados por levantamento topográfico

3.2.8.3 Procedimentos executados

Os procedimentos executados relacionados neste capítulo convieram para buscar os, objetivos específicos, desenvolver metodologias aplicação e amparar a pesquisa com os resultados preliminares alcançados. A Figura28 demonstra em síntese como se procederam as atividades de levantamento dos dados.

Figura 28 –Fluxograma de trabalho



No Quadro 14, se pode observar os procedimentos, objetivos específicos, metodologia de aplicação e alguns resultados preliminares alcançados de modo a orientar os trabalhos de investigação para atender os objetivos.

Obs.: alguns limites críticos do equipamento não foram testados por não ser ter total controle ou pelo fato de algumas funções não estarem funcionando adequadamente.

Quadro 14 – Procedimentos, objetivos específicos, metodologia de aplicação e resultados preliminares alcançados

Procedimento 1 – Extrapolar da área de atuação do <i>drone</i> através do aplicativo <i>mdCockpit</i> (pontos muito distantes, rotas extrapoladas, esgotar propositalmente a capacidade do equipamento)	
Objetivo específico do procedimento	Identificar os principais fatores influentes na operacionalização do equipamento.
Metodologia de aplicação	Foi planejada uma rota de voo que extrapolasse as limitações de tempo de permanência no ar, de distância percorrida ou de procedimentos em <i>waypoints</i> dentro em uma área teste de atuação do <i>drone</i> . No aplicativo <i>mdCockpit</i> esgotou-se

	propositalmente a capacidade do equipamento.
Resultados alcançados	<p>Não foi possível operá-lo no modo autônomo para uma rota específica (má programação, sistema operacional não compatível, alguma função desabilitada, ainda não se identificou o fator responsável). No entanto o aplicativo de programação de rota de voo aceita rotas que extrapolem os limites do equipamento.</p> <p>Em pontos muito distantes, no modo assistido, perdeu-se o referencial de direção; como solução, acionou-se o modo <i>home</i> (volta ao ponto de partida). Perdeu-se o sinal de rádio; a solução encontrada foi desligar o RC, deixá-lo entrar no modo de emergência e atender ao procedimento de pouso.</p>
Procedimento 2 – Fazer vários planejamentos de uma mesma rota e em várias alturas diferentes	
Objetivo específico do procedimento	Estudar a aplicação das imagens no georreferenciamento direto e indireto. Identificação dos principais fatores influentes na operacionalização do equipamento.
Metodologia de aplicação	Programaram-se, várias rotas de voo em alturas diferentes, a fim de se estudar o comportamento do <i>drone</i> no revoos de uma rota, porém em altura diferente.
Resultados alcançados	<p>O teste de execução de uma mesma rota em alturas diferentes não foi possível, devido as deficiências relatadas no procedimento 1.</p> <p>No Quadro 15, podem-se verificar os metadados obtidos de forma direta ou indireta em rotas de voo programadas ou controladas. Esses dados podem auxiliar no estudo e georreferenciamento das imagens.</p> <p>As rotas voadas ou planejadas, projetadas no <i>Google Earth</i>, dão uma boa demonstração da passagem do voo, alturas sobrevoadas e imagens coletadas.</p>

	<p>Os arquivos de dados digitais gerados podem ser armazenados, enviados e analisados por qualquer interessado desde que tenha o aplicativo adequado.</p> <p>A rota de voo pode ser armazenada para sua execução em épocas diferentes, bastando, para isso, inseri-la novamente ou simplesmente ativá-la (não foi feito este teste pelos motivos já citados).</p> <p>A execução repetida da mesma rota em épocas distintas serviria para o acompanhamento da dinâmica ocupacional e evolução temporal de uma determinada situação. Como não foi possível operá-lo no modo autônomo para uma rota específica (má programação, sistema operacional não compatível, alguma função desabilitada, ainda não se identificou o fator responsável), a execução repetida de uma mesma rota em períodos distintos não foi executada.</p>
Procedimento 3 – Obter imagens com intervalômetro da câmera fotográfica	
Objetivo específico do procedimento	<p>Estudar a viabilidade da utilização das imagens na obtenção de modelos estereoscópicos. Identificar os principais fatores influentes na operacionalização do equipamento.</p>
Metodologia de aplicação	<p>No aplicativo <i>mdCockpit</i>, pode-se programar a rota de voo para se obter fotos espaçadas em intervalos de tempo regulares, obter-se mais de uma imagem da mesma cena ou escolher-se a ação panorâmica, onde se programa o ângulo de inclinação da câmera e o ângulo de deslocamento do <i>drone</i> em torno do eixo vertical. Como o modo autônomo não funcionou, optou-se por obter imagens com disparos manuais em intervalos de tempo regulares manualmente. Também se fez a opção do uso do intervalômetro da câmera, onde um acionamento por RC resultava em uma obtenção de imagens em intervalos regulares e concomitantemente deslocava-se o <i>drone</i>.</p> <p>A outra forma de obtenção de pares estereoscópicos foi de posicionar o <i>drone</i> manualmente e a cada nova</p>

	<p>posição escolhida, e disparar-se o obturador através do RC. Essa forma pode ser conseguida tanto no sentido de voo longitudinal (frente e ré) ou lateral.</p> <p>Essas tomadas fotográficas tinham o propósito da busca por recobrimento longitudinal ou lateral e na obtenção de pares estereoscópicos.</p>
Resultados alcançados	<p>Foi possível a obtenção de sequências fotográficas com o intervalômetro da câmera. Percebeu-se que os metadados registrados são relativos somente à primeira imagem, ou seja, somente quando acionado o obturador pelo comando RC.</p> <p>Nesse modo, obtiveram-se pares estereoscópicos e muitas imagens isoladas que através de aplicativos específicos pode-se realizar a construção de mosaicos, item 4.10 Mosaicagem, imagens anaglifas e modelos 3D.</p>
Procedimento 4 - Obter imagens panorâmicas ou inclinadas	
Objetivo específico do procedimento	<p>Estudar aplicação das imagens digitais obtidas, na fotointerpretação para atualização do cadastro temático.</p> <p>Estudar a viabilidade da utilização das imagens na obtenção de modelos estereoscópicos.</p>
Metodologia de aplicação	<p>O procedimento consiste em deslocamento até a área de interesse, montagem do equipamento, checagem das funções e decolagem vertical. Eleva-se o <i>drone</i> até a altura desejada e acompanhada por imagens em tempo real, transmitidas através do md<i>Cockpit</i> faz-se os posicionamentos adequados, ajustes de câmera ou do <i>drone</i>, fazem-se as tomada fotográficas e retorna-se ao pouso.</p> <p>Após a perda de sinal de telemetria e vídeo, decolava-se até uma área segura e se elevava o <i>drone</i> até a altura estimada, estimava-se posicionamento de câmera e do <i>drone</i>, fazia-se as imagens e retornava-se ao pouso.</p>

	<p>Por várias vezes, o equipamento perdeu sinal de controle de RC por mais de 30 segundos, o qual permanecia pairando e entrava no modo de emergência e procedimento de pouso; pelo fato de se estar em uma área segura, isto não comprometeu os resultados.</p>
<p>Resultados alcançados</p>	<p>É o modo de operação mais seguro. Podem-se identificar algumas aplicações destas imagens no capítulo quatro, resultados.</p> <p>Um dos problemas encontrados nesse tipo de imagem é que depende fundamentalmente da estação base para dados de telemetria, enquadramento e abrangência da área fotografada. Vários voos foram realizados sem este recurso, o resultado disso foi desperdício de tempo, muitas imagens desprezadas e revoou dos pontos de interesse não abrangidos.</p> <p>Outra dificuldade encontrada nesse tipo de imagem é que só se tem segurança de duas posições de inclinação da câmera: 00° eixo ótico da câmera paralelo à linha de voo (linha do horizonte) e 90°, ortogonal ao plano de voo. Estas posições são conseguidas respectivamente pelo deslocamento do comando de inclinação de câmera para trás ou para frente em suas posições extremas.</p> <p>As demais inclinações do eixo ótico da câmera só serão percebidas após a verificação do relatório de voo, ou seja, no modo manual não se tem o controle do valor do ângulo de inclinação da câmera e nem do posicionamento do <i>drone</i>.</p>
<p>Procedimento 5 – Comparação de um planejamento de voo pelo <i>Google Earth</i> e com os mesmos pontos levantados pelo RTK</p>	
<p>Objetivo específico do procedimento</p>	<p>Estudar a aplicação das imagens no georreferenciamento direto e indireto. Identificação dos principais fatores influentes na operacionalização do equipamento.</p>

Metodologia de aplicação	O processo, descrito no item 4.3, visou a verificar quanto o <i>drone</i> se comporta em uma rota estabelecida planejada sobre uma imagem do <i>Google Earth</i> . Na prática, não foi executado pelos motivos já citados no procedimento 1.
Resultados alcançados	Foi observada uma dispersão média de 5,84 m entre os pontos planejados diretamente no Google com os levantados no terreno. Embora as áreas calculadas e os perímetros tenham apresentado valores aproximados, e os resultados alcançados neste experimento, no pior dos casos, foram de 14,20 m para uma altura de voo de 100 metros. Embora o planejamento de voo seja prático no mdCockpit através das imagens georreferenciadas do <i>Google Earth</i> , não se tem a garantia de que o <i>drone</i> irá navegar exatamente sobre esses pontos, isso sem considerar o erro de navegação inerente do GPS. Com isso, deve-se ter cuidado com a aplicação direta desses produtos em aplicações de SIG.
Procedimento 6 - Navegação por pontos de coordenadas conhecidas	
Objetivo específico do procedimento	Estudar a aplicação das imagens no georeferenciamento direto e indireto.
Metodologia de aplicação	Fazer levantamento no terreno de pontos de interesse, transferir estes pontos ao editor de <i>waypoint</i> , programar a rota de voo e executá-la. Os pontos foram coletados por RTK e feitos o planejamento de voo sobre eles. Ver como tudo se comporta.
Resultados alcançados	Como não foi possível operá-lo no modo autônomo para uma rota específica, conforme mostrou o item 1, não se tem melhores resultados.
Procedimento 7 – Aplicação da função <i>teach in</i>	
Objetivo específico do procedimento	Estudar a aplicação das imagens no georeferenciamento direto e indireto. Identificação dos principais fatores influentes na operacionalização do equipamento

Metodologia de aplicação	<p>Consiste em sobrevoar a área de interesse, em uma altura que abranja pontos específicos do terreno, de modo que depois se possa fazer o planejamento detalhado sobre esses pontos. Funciona como se fosse um planejamento por imagem georreferenciada, com a diferença de que esta imagem é obtida pelo próprio <i>drone</i>. Insere-se a imagem georreferenciada no editor de <i>waypoint</i> e faz-se o planejamento sobre ela. Esta função prevê a geração e calibração de mapas para o planejamento de rotas de voo, verificação da precisão no levantamento de pontos de controle; fotografar e georreferenciar objetos em áreas de difícil acesso.</p>
Resultados alcançados	<p>No item 4.4 Metadados das Imagens, são apresentadas às diversas formas que os metadados são obtidos, de forma direta ou indireta. Pode-se perfeitamente obter-se imagens para essa finalidade, porém se devem levar em conta os parâmetros do item 4.5, bem como a Tabela 1, que relaciona a altura de voo com as dimensões do quadro da imagem de sua área, escala e resolução.</p> <p>Como depois do planejamento a execução é um processo automático, pelos motivos já citados, não foi executado.</p>
Procedimento 8 – Verificar a variação da altura em uma faixa de voo, em rotas e períodos diferentes	
Objetivo específico do procedimento	<p>Identificar os principais fatores influentes na operacionalização do equipamento. Analisar a viabilidade da utilização das imagens obtidas na obtenção de modelos estereoscópicos.</p>
Metodologia de aplicação	<p>Executar faixas de voo na mesma rota voo e em rotas e períodos diferentes. A finalidade do teste foi de monitorar a variação da altura em faixas de voo no transcorrer da rota.</p>
Resultados alcançados	<p>Nestes procedimentos, fez-se 17 observações, conforme item 4.17 e Tabela 10, e verificou-se que as variações de altura independem da altura de voo e ficaram em uma média de 0,44 m.</p>

Procedimento 9 – Imagens macro	
Objetivo específico do procedimento	Estudar aplicação das imagens digitais obtidas, na fotointerpretação para atualização do cadastro temático.
Metodologia de aplicação	Deslocamento do <i>drone</i> até a altura adequada, esta pode ser acompanhada na tela do <i>videolink</i> , posiciona-se, se escolhe os detalhes de interesse e captam-se as imagens.
Resultados alcançados	<p>Verificaram-se detalhes em áreas construídas. Também serviu para verificar detalhes e subsídio para avaliação e restauração de patrimônios culturais, inspeções de obras, identificação e espécies vegetais. Os itens 4.8, 4.9, 4.11 e 4.18 retratam exemplos deste procedimento.</p> <p>Um dos problemas encontrados neste tipo de procedimento é que depende fundamentalmente da estação base para dados de telemetria e visualização da cena desejada, enquadramento e abrangência da área fotografada.</p> <p>Vários voos foram realizados sem este recurso, resultando em desperdício de tempo, muitas imagens desprezadas e revoos dos pontos de interesse não abrangidos.</p> <p>Neste procedimento, também é de fundamental importância que se tenha bom sinal de RC, pois caso haja perda de sinal pelo tempo estabelecido, o <i>drone</i> irá entrar no modo de emergência e irá fazer o procedimento de pouso. Se o local for restrito ou houver obstáculos corre-se o risco de fazer pouso em local inadequado.</p>
Procedimento 10 – Imagens de área urbana	
Objetivo específico do procedimento	Estudar aplicação das imagens digitais obtidas, na fotointerpretação para atualização do cadastro temático. Identificação os principais fatores influentes na operacionalização do equipamento
Metodologia	Voou-se sobre a área urbana, limite da UFSM com o

de aplicação	parque residencial Novo Horizonte, Santa Maria (RS) e sobre a cidade de Silveira Martins (RS), e sobre o Colégio Politécnico da UFSM (RS), fez-se algumas imagens com o eixo da câmera na posição vertical e inclinado.
Resultados alcançados	<p>Identificaram-se propriedades, verificaram-se limites e situação atual de terrenos e residências. Construiu-se mosaicos e obteve-se modelos estereoscópicos. Observou-se que as imagens podem facilmente ser utilizadas na fotointerpretação para atualização do cadastro temático. O item 4.9, retrata essas situações.</p> <p>Também na área urbana, constatou-se que é de fundamental importância que os recursos de apoio ao voo estejam funcionando em sua plenitude, caso contrário, é grande a possibilidade de o plano de voo não ser cumprido por completo ou ameaçar a segurança.</p> <p>Também para essa atividade, se forem necessários produtos fotogramétricos, é de fundamental importância que os sistemas autônomos estejam funcionando em sua plenitude, caso contrário, os resultados serão apenas satisfatórios e não precisos. Exemplos podem ser observados no item 4.16.</p>
Procedimento 11 – Imagens referenciadas por um ponto de decolagem sobre relevos diferentes	
Objetivo específico do procedimento	Identificação os principais fatores influentes na operacionalização do equipamento.
Metodologia de aplicação	Em uma região que apresentou relevos diferenciados, deslocou-se o <i>drone</i> a um nível inferior de voo em relação ao ponto de decolagem; ao longo deste relevo acionaram-se disparos fotográficos periódicos de modo a se obter registros sobre os diversos relevos. Os metadados registrados foram referentes aos disparos e estes apresentaram entre outros dados, a altura de voo. A principal finalidade do teste foi de averiguar a referência que o <i>drone</i> utiliza para o

	cálculo da altura de voo.
Resultados alcançados	Nas observações feitas sobre os relevos testados, identificou-se que no momento da decolagem é adotada uma altura de 0,0m, acima deste nível é registrados valores positivos, abaixo valores negativos. Portanto para imagens obtidas abaixo deste nível não se tem a altura do voo direta sobre este ponto. (voo#101, Apêndice B)
Procedimento 12 – Imagens em alturas diferentes	
Objetivo específico do procedimento	Identificação dos principais fatores influentes na operacionalização do equipamento. Estudar a aplicação das imagens no georreferenciamento direto e indireto.
Metodologia de aplicação	Decolagem vertical, e a cada intervalo considerado, tomada de uma fotografia e uma tomada de visada de Estação Total. Os dados do ponto de decolagem foram: Coordenada E: 237.496,238 Coordenada N: 6.708.541,293 Altitude ortométrica: 97,475 Azimute: 170°14'50" Ângulo vertical: 89°38'35" Distância reduzida: 63,322 m Distância Inclinada: 63,323 m Desnível: 0,249 m Altura da Estação Total: 1,355 m Altura do prisma: 1,5 m
Resultados alcançados	O item 3.2.3, Estimativas de altura, e a Tabela 2, retratam as alturas registradas pelo <i>drone</i> com as tomadas pela Estação Total. Pode-se verificar que a altura (barométrica) do <i>drone</i> apresentou em média 0,33m de defasagem para mais em relação à altura obtida pela estação total. Ressaltasse aqui que o GPS do <i>drone</i> está posicionado a 0,37m de distância em relação a câmera fotográfica. O teste serviu também para identificar a referência que o sistema se utiliza para o cálculo das alturas. Neste caso a configuração do <i>drone</i> trata esta altura como altura barométrica

Procedimento 13 – Verificar o sistema de segurança de retorno ao ponto inicial	
Objetivo específico do procedimento	Identificação dos principais fatores influentes na operacionalização do equipamento
Metodologia de aplicação	Com a finalidade de comprovar seu sistema de segurança, foi deslocado a uma altura aproximada de 80m e uma distância de 120 m, e acionado o modo <i>home</i> (retorno ao ponto de partida). Com a finalidade de comprovar seu sistema de emergência por perda de sinal RC, foi deslocado a uma altura aproximada de 30m e uma distância de 62,4 m, desligou-se o RC. Com a finalidade de verificar o modo DPH (modo que permanece no local se não for acionado por comando) foi posicionado próximo e manualmente deslocava-se para os lados.
Resultados alcançados	<p>Após varias tentativas de acionamento do modo “home”, o equipamento passou a responder positivamente, obedecendo ao comando.</p> <p>Após 35 segundos, sem capturar o sinal RC, entrou no modo de emergência, fez os procedimentos de retorno e voltou ao ponto de partida, foi assumido o pouso no modo manual por se tratar de uma área muito restrita.</p> <p>Também respondeu positivamente o modo DPH, depois de deslocado de sua posição estabilizada, voltava ao ponto de origem.</p> <p>Não foi testado na integra o modo de emergência por bateria fraca, pois às vezes que isso parecia acontecer próximo ao solo, tinha reações de subidas e descidas repentinas. Optou-se por não arriscar a integridade do equipamento.</p>

4 RESULTADOS

A pesquisa foi realizada com o VANT quadrotor *md4-1000*, pertencente ao Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria, lotado no Departamento de Sensoriamento Remoto - LABSERE, adquirido em meados de 2010 e disponibilizado em meados de 2011. Neste capítulo, são apresentados os principais resultados alcançados desde o início da pesquisa, entraves encontrados, feito algumas análises e respondidas algumas indagações inicialmente propostas.

4.1 Resultados alcançados na fase de treinamento

Primeiramente destaca-se a operacionalização como um interessante resultado alcançado, pois, como a compra não contemplou um treinamento específico, teve-se que buscar em campo o entendimento e o conhecimento necessário para a programação e operação do funcionamento do *drone*. O domínio das técnicas de voo foi de fundamental importância, e isto só foi conseguido com inúmeras idas a campo de testes e tentativas de pô-lo em operação. Sem este domínio, depender-se-ia de um operador ou de assistência de externos ao trabalho, a pesquisa se tornaria impraticável.

Os primeiros testes foram feitos em laboratório com o equipamento na configuração padrão e fixado sobre uma mesa para entender seu funcionamento bem como a certificação de que o mesmo estaria em condições de operação. Apesar da calibração conforme recomendação do fabricante no primeiro teste de campo foi constatada que este não estava devidamente configurado com o rádio e consequentemente não atendia todos os comandos previstos.

Após contato com o fornecedor do equipamento, o rádio passou por uma checagem geral e foi reconfigurado. Este ajuste forneceu ao *drone* o restabelecimento de suas funções fundamentais. No entanto, no primeiro teste de voo, em modo assistido e sem GPS, apresentou falhas nos comandos. Após a decolagem sem GPS e, portanto sem a função DPH, tomou um rumo independente das ações enviadas via rádio. Só foi possível recuperá-lo quando foi dado o comando de baixar e cortar motores. A partir deste momento foi detectada uma série de problemas que viriam influenciar os rumos desta pesquisa, pois a configuração inicial passou por uma série de entraves que a metodologia prevista teve que ser adaptada em função da funcionalidade conseguida.

Alguns entraves encontrados:

- 1- Identificação dos componentes e a montagem do sistema foram executadas com um manual adaptado. O fornecedor enviou um similar alegando a inexistência do próprio. A montagem e a operacionalização só foram possíveis com o apoio de informações paralelas buscada na WEB.
- 2- O rádio transmissor foi adaptado, originalmente é fabricado para voar aeromodelos como aviões e helicópteros. Para o *drone* é feita uma configuração especial, esta não veio adequada, e poderia ter comprometido todo o sistema.
- 3- O sistema GPS integrado ao *drone*, é o responsável pela segurança do equipamento e a navegação pelo modo autônomo. No modo padrão, não libera a partida dos motores se não captar sinal suficiente para um determinado erro de GPS estabelecido nas configurações gerais do *drone*. Este deveria captar os sinais de satélites quando fosse ligado por um determinado período e após isso daria sinais sonoros de disponível para o voo. Por várias tentativas isto não aconteceu, obrigando-nos a fazer os testes iniciais com o equipamento preso ao solo. Constatado que o problema da falta de sinal de GPS poderia ser provocado pela insuficiência do funcionamento do magnetometro, procedeu-se inúmeras calibrações deste sem sucesso. Foi constatado que o problema poderia estar no magnetômetro danificado, procedeu-se a troca e novas calibrações aconteceram até que este passou a funcionar.
- 4- O sinal da antena foi melhorado por meio de um amplificador, pois foi constatado que esta estava com seu alcance muito aquém do previsto. Algum tempo depois o problema voltou a acontecer e não se sabe sua origem.
- 5- O código de ativação do modo *waypoint* (modo de voo autônomo) não veio com o sistema. Após contato com o fornecedor, este enviou-nos por três tentativas de códigos diferentes, porém em nenhuma delas obteve-se êxito.
- 6- A estação base, responsável pelo controle do voo em terra, onde se recebe dados de telemetria e imagens da rota de voo em tempo real, também deixou de funcionar após alguns testes. Com isso perdeu-se a possibilidade de acompanhamento em tempo real do voo, os alertas de segurança que ela dá em relação a sinais de GPS, carga de bateria, velocidade do vento, altura de voo e sinal de rádio.
- 7- Após alguns testes constatou-se que nem todas as imagens que deveriam ter sido capturadas foram, mas os registros relativos aos

disparos correspondentes foram. Ou seja; tinha-se um relatório de parâmetros de imagens, mas não o mesmo número de imagens. Após alguns testes verificou-se que existe um tempo de retardo entre o acionamento por RC e a execução do disparo da câmera. Este tempo é de 3 a 4 segundos.

4.2 Estimativas de altura do md4-1000

Considerando que o md4-100, fornece dados de altura barométrica, altura sobre o solo, ou simplesmente altura, procedeu-se uma verificação a campo para definir a altura adotada mais apropriada. Com uma estação total marca Leica TCR-407, com precisão linear de 5 mm + 2 ppm e precisão angular de 7", posicionada a 62,623 m procedeu-se a medição de 18 alturas de voo juntamente com tomadas fotográficas para o registro dos metadados correspondentes; e estas foram comparadas aos registros do relatório de voo. A Tabela 2, apresenta os valores obtidos em 18 tomadas fotográficas, por ela também da para perceber que a “altura barométrica” se aproxima da observada pela estação total, dando uma variação média de 0,33m para menos em relação a estação total. Cabe ainda ressaltar que o GPS do *drone* fica posicionado a 0,37 m acima do sensor fotográfico, portanto a altura lida nos registros de voo refere-se a altura do *drone* e não da fotografia.

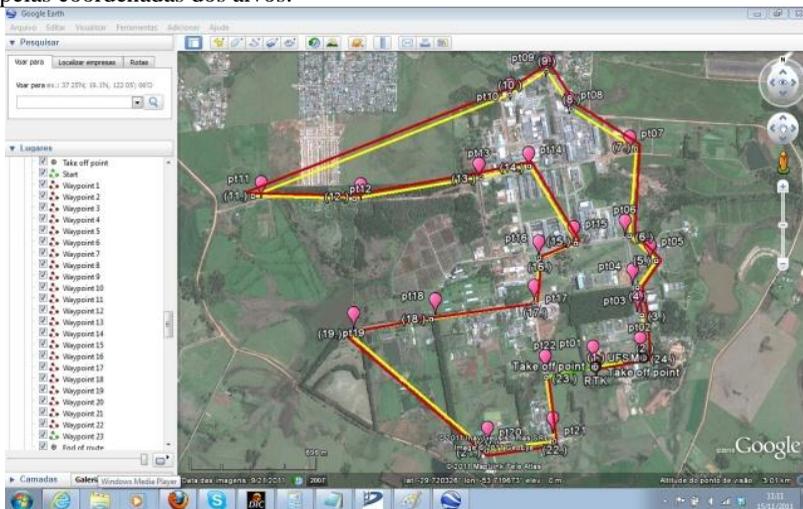
Tabela 3 – Altura barométrica do *Drone* X Estação Total

Photo	Registro cartão SD drone					MapGeo		Height (Altura barométrica Drone)	H. Est. Total	Diferença (Height - H. Est. Total)
	GPS Time	Timecode	Latitude	Longitude	GPS-A.	N	H			
1	12:33:40	53,204	-29,7255639	-53,71366321	119,6	9,42	110,18	5,8	5,479	0,321
2	12:33:57	70,174	-29,7255672	-53,71366706	124,1	9,42	114,68	9,8	9,699	0,101
3	12:34:21	94,45	-29,7255666	-53,71367471	128,7	9,42	119,28	14,9	14,867	0,033
4	12:34:53	126,187	-29,7255513	-53,71367623	133,6	9,42	124,18	19,5	19,565	-0,065
5	12:35:35	168,693	-29,7255518	-53,71367238	138,2	9,42	128,78	23,8	23,99	-0,19
6	12:35:49	182,437	-29,7255512	-53,71367195	147,1	9,42	137,68	32,2	33,394	-1,194
7	12:36:12	205,94	-29,7255482	-53,71366899	154,8	9,42	145,38	40,2	41,678	-1,478
8	12:36:31	224,69	-29,7255488	-53,71367041	165,9	9,42	156,48	50,3	52,296	-1,996
10	12:37:48	301,202	-29,7255483	-53,71366525	172,1	9,42	162,68	55,8	57,574	-1,774
12	12:38:21	334,687	-29,7255468	-53,71366297	158,9	9,42	149,48	44,2	45,377	-1,177
13	12:38:44	357,456	-29,72554	-53,71366634	154	9,42	144,58	38,1	39,371	-1,271
14	12:39:22	395,927	-29,7255365	-53,71366341	146,4	9,42	136,98	31,9	32,016	-0,116
15	12:39:45	418,485	-29,7255412	-53,71366218	139,6	9,42	130,18	25,9	25,619	0,281
16	12:40:08	441,459	-29,7255358	-53,71363813	133	9,42	123,58	19,6	18,878	0,722
17	12:40:21	454,699	-29,7255315	-53,71362863	128,3	9,42	118,88	16,1	14,79	1,31
18	12:40:43	476,428	-29,7255294	-53,71362744	123,2	9,42	113,78	11,5	10,387	1,113
cota do local 102,1m									média	-0,33625

4.3 Comparações da rota de voo do *Google Earth* com o sistema RTK

Um dos primeiros experimentos realizados foi fazer uma comparação de pontos plotados pelo aplicativo de planejamento de rota do *drone* comparados com sua real posição no terreno. A escolha de pontos sobre a imagem do *Google Earth* na simulação de voo tem sua acurácia dependente da escala, resolução da imagem, ou ambas. O *mdCockpit* é capaz de capturar a imagem no *Google Earth* e permitir a escolha dos pontos definidores da trajetória de voo. O objetivo desta confrontação de valores permitiu avaliar quanto uma rota de voo planejada da forma tradicional, sobre o *Google Earth* e a planejada por dados levantados a campo, pode divergir. A Figura 29, em vermelho, apresenta a rota de voo simulada sobre o mosaico georreferenciado extraído do *Google Earth* e, em amarelo, a rota de voo simulada planejada pelos correspondentes pontos levantados pelo sistema RTK.

Figura 29 – Em vermelho, rota programada no *mdCockpit*; em amarelo, rota pelas coordenadas dos alvos.



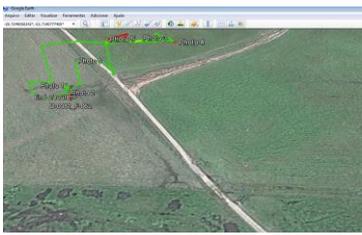
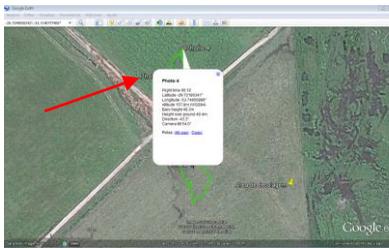
Ao comparar as coordenadas dos pontos capturados na imagem *Google Earth* com os pontos levantados no terreno, foi observado uma dispersão média de 5,84 m, com um desvio padrão de 2,37 m. Embora as áreas calculadas e os perímetros tenham apresentado valores aproximados, esse fato não deve induzir o usuário a concluir que a região a ser sobrevoada esteja corretamente posicionada. Os resultados

alcançados neste experimento, no pior dos casos, foram de 14,20 m para uma altura de voo de 100 m. É interessante que se busque determinar a relação entre a variação de posicionamento e altura de voo, ocorrida na simulação. Além disso, este estudo foi importante para se conhecer a magnitude do erro na simulação. Concluindo-se com isso que rotas de voo demarcadas diretamente sobre imagens do *Google Earth* são de fácil aplicação, porém deixam a desejar no quesito precisão, resultando com isso em passagens de voo nem sempre sobre o alvo pretendido. Isso serve de alerta para se levar em conta, como margem de segurança, esses possíveis desvios.

4.4 Metadados das imagens

O Quadro 15 apresenta os metadados obtidos de forma direta ou indireta, de uma fotografia tomada pelo *drone*, no momento de registro da imagem.

Quadro 15 – Metadados obtidos de forma direta ou indireta.

METADADOS EXTRAÍDOS DE UMA IMAGEM	
Google (observação direta)	
Latitude – 29,7249050242° Longitude – 53,7140777400°	
Dados de telemetria do ponto fotografado, projetado na rota do Google (indireta)	
Photo 4 Flight time 05:12 Latitude -29.72186341° Longitude -53.74850888° Altitude 157,8m (WGS84) Baro height 49.3m Height over ground 49,4m	

Direction $-43,3^\circ$

Camera tilt $54,0^\circ$

METADADOS EXTRAÍDOS DE UMA IMAGEM (continuação)

Dados de telemetria registrado no *mdCockpit* da rota de voo, equivalente ao ponto fotografado (indireta)

Número do *drone* – 081

Tempo de voo – 321,6 s

Latitude – $-29,721858^\circ$

Longitude – $-53,748504^\circ$

Altura – 49,3 m

Distância – 101,5 m

Velocidade - 0,5 Km/h

Atitude *Roll* – $+0,8^\circ$

Atitude *Pitch* – $-2,1^\circ$

Atitude *Yaw* – $-107,9^\circ$

Alavanca RC-*Roll* – 0,0%

Alavanca RC-*Pitch* – 0,0%

Alavanca RC-*Yaw* – 0,0%

Alavanca RC-*Throttle* – 0,0%

Desempenho médio dos motores – 66,5%

Motor da frente – 69%

Motor esquerdo – 63%

Motor traseiro – 75%

Motor direito – 58%



Dados de telemetria do ponto fotografado registrado no *dawlink* (direta)

Latitude $-29,721862^\circ$

Longitude $-53,748508^\circ$

Altitude 169,3 m

Altura – 49,3 m

Azimute – 317^0

Inclinação da câmera (nadir) – 34°

Data – 03/01/2012

Hora – 08:51:18

Número da imagem – 00106



4.5 Relatório de voo relativo às imagens

A Tabela 4 representa o relatório do voo 082 somente relativo aos disparos do obturador pelo modo manual.

Tabela 4 – Relatório do voo #82, relativo aos acionamentos do RC

Photo	GPS Time	Timecode	Latitude	Longitude	GPS-A.	Height	Roll	Pitch	Yaw	Pitch servo	Roll servo
000	11:21:18	27.204	-29.71368819	-53.73572460	131.5	7.8	+5.6	+4.2	+151.0	+42.8	+45.0
002	11:21:27	36.696	-29.71367680	-53.73572572	132.0	7.6	+4.2	+5.4	+149.6	+42.8	+45.0
003	11:21:31	40.191	-29.71367622	-53.73572798	131.1	7.6	+3.5	+4.2	+154.2	+42.8	+45.0
004	11:21:42	51.444	-29.71367387	-53.73572980	136.6	12.5	+5.6	+1.6	+152.6	+42.8	+45.0
005	11:21:44	53.429	-29.71367723	-53.73573242	136.4	12.3	+3.6	+4.1	+150.8	+42.8	+45.0
006	11:21:56	65.678	-29.71367638	-53.73571593	148.2	23.5	+6.7	+3.1	+153.8	+42.8	+45.0
007	11:22:03	72.947	-29.71367541	-53.73571239	149.3	24.1	+5.0	+3.3	+153.0	+42.8	+45.0
008	11:22:16	85.939	-29.71367954	-53.73571801	162.0	36.9	+4.6	+2.9	+153.7	+42.8	+45.0
009	11:22:31	100.217	-29.71368737	-53.73572349	187.3	60.3	+3.8	+4.8	+152.7	+42.8	+45.0
010	11:22:42	132.473	-29.71368039	-53.73571773	207.6	60.3	+5.1	+4.4	+152.8	+42.8	+45.0
011	11:22:57	126.927	-29.71368267	-53.73572387	210.7	82.3	+3.6	+1.7	+153.9	+42.8	+45.0
012	11:23:02	131.714	-29.71367959	-53.73571894	210.1	82.4	+5.6	+2.9	+153.2	+42.8	+45.0
013	11:24:18	207.944	-29.71312577	-53.73980124	208.1	81.4	+3.7	-3.6	+65.0	+42.8	+45.0
014	11:24:31	220.953	-29.71302112	-53.73604187	208.5	82.6	+0.8	+0.2	-64.6	+42.8	+45.0
015	11:24:45	234.450	-29.71283972	-53.73607063	207.6	82.0	+0.9	-1.4	-64.3	+42.8	+45.0
016	11:25:04	253.699	-29.71262448	-53.73622292	207.9	81.8	+3.6	-1.7	-64.0	+42.8	+45.0
017	11:25:24	273.680	-29.71241310	-53.73598230	208.7	82.4	+1.8	-6.9	-64.9	+42.8	+45.0
018	11:25:30	279.931	-29.71241013	-53.73597963	207.0	81.7	+2.3	-3.7	-63.9	+42.8	+45.0
019	11:25:43	292.428	-29.71244646	-53.73583502	207.2	82.0	+1.8	-2.8	-64.0	+42.8	+45.0
020	11:26:34	343.454	-29.71321197	-53.73596863	207.0	82.1	+1.8	-3.6	-65.1	+42.8	+45.0
021	11:26:45	354.686	-29.71320262	-53.73596822	207.7	82.3	-1.9	+1.3	+3.1	+42.8	+45.0
022	11:27:17	386.923	-29.71320719	-53.73557067	208.9	81.9	+0.5	-4.6	-47.8	+0.0	+45.0
023	11:27:29	398.438	-29.71321044	-53.73596739	208.4	82.1	+0.8	-5.5	-47.5	+23.0	+45.0
024	11:27:36	405.677	-29.71321794	-53.73596397	209.2	82.5	-3.3	-8.4	-9.7	+23.0	+45.0
025	11:27:43	412.927	-29.71321064	-53.73596931	208.2	81.7	-2.5	+0.1	+79.3	+23.0	+45.0
026	11:27:49	418.435	-29.71320544	-53.73596556	207.6	81.7	+1.7	+0.8	+173.9	+23.0	+45.0
027	11:27:57	426.168	-29.71320508	-53.73596833	209.7	82.2	+1.6	+0.4	-173.8	+23.0	+45.0
028	11:28:15	444.908	-29.71320954	-53.73562646	208.5	82.0	+4.0	+1.3	-173.2	+45.0	+45.0
029	11:30:09	558.681	-29.71375554	-53.73597336	144.9	24.9	-0.6	-2.6	-35.0	+9.0	+45.0
030	11:30:13	562.684	-29.71375601	-53.73595643	144.9	24.9	+1.9	-3.5	-65.1	+9.0	+45.0
031	11:30:21	570.175	-29.71375408	-53.73594642	144.9	25.2	-3.4	-2.0	+11.2	+9.0	+45.0
032	11:30:26	575.161	-29.71375671	-53.73595057	144.4	24.9	-1.2	-0.8	+46.3	+9.0	+45.0
033	11:30:29	578.942	-29.71375893	-53.73595284	144.6	24.9	-2.9	-0.3	+74.2	+9.0	+45.0
034	11:31:40	649.193	-29.71431442	-53.73574310	221.6	97.5	-2.7	-2.9	-18.4	+45.0	+45.0
035	11:31:44	653.927	-29.71431778	-53.73574166	222.3	97.8	-3.4	-2.9	+5.5	+45.0	+45.0
036	11:31:57	666.436	-29.71431404	-53.73574899	258.7	132.1	-2.3	+4.9	+3.6	+45.0	+45.0
037	11:32:06	675.933	-29.71432026	-53.73596575	258.9	132.5	-6.3	-0.3	+1.5	+45.0	+45.0
038	11:32:32	701.430	-29.71387094	-53.73571593	259.7	133.4	-0.1	-1.7	-8.1	+45.0	+45.0
039	11:32:48	717.478	-29.71387158	-53.73557489	259.1	133.0	-6.7	-2.0	+84.7	+45.0	+45.0

Como se pode observar, este foi disparado por 39 vezes, porém neste voo, só foram registradas 9 imagens. O relatório é construído de forma cronológica sincronizado com os disparos. As 9 imagens obtidas tiveram de ser identificadas pelos metadados registrados na rota de voo, conforme item 4.4. Esse exemplo, também serve para alertar que se pode estar fotografando, o *drone* recebendo os sinais de disparos da câmera fotográfica e o cartão SD registrando os dados de voo, mas a câmera fotográfica não recebeu o impulso do disparo do obturador. Isto normalmente acontece quando o retorno do gatilho de disparo é feito de maneira muito rápida ou perde de sinal RC.

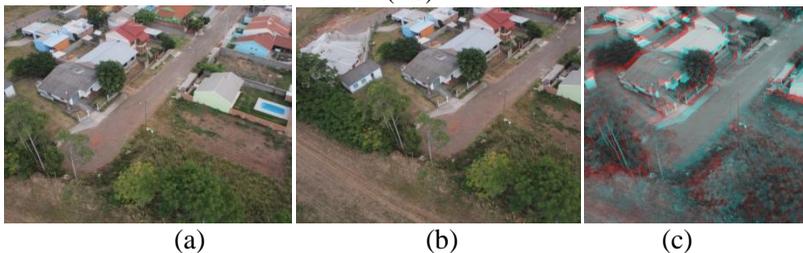
4.6 Pares estereoscópicos

A percepção estereoscópica é um fator importante no estudo do relevo e dos objetos tridimensionais. Devido à fácil manobrabilidade, pares estereoscópicos podem ser obtidos por ligeiros deslocamentos do *drone* e obtendo-se as respectivas imagens. Neste trabalho, foram obtidos pares estereoscópicos por imagens inclinadas que foram obtidas em ângulos diferentes e ligeiros deslocamentos em torno do eixo vertical e por imagens verticais, obtidas deslocando-se o *drone* no seu eixo de

voos horizontais, aguardando alguns segundos para estabilização e disparando-se o obturador por RC. Pares estereoscópicos também podem ser obtidos pelo *drone*, deslocando-se no seu eixo lateral, com procedimento análogo ao longitudinal ou com deslocamento constante, porém com a câmera calibrada para o modo de intervalômetro, ou seja, a cada disparo pelo RC, o comando aciona um intervalo de fotos que estarão ligeiramente deslocadas. Cabe aqui ressaltar que nesta função, só haverá registros de metadados, no cartão de voo, referentes à imagem do primeiro disparo.

A Figura 30 representa a composição anaglifa por pares estereoscópicos inclinados, recobertos pela rotação em torno do eixo vertical (Z). A imagem da esquerda (a) e a imagem direita (b) originaram a criação anaglifa 3D (c).

Figura 30 – Composição anaglifa por pares estereoscópicos inclinados, no bairro Novo Horizonte – Santa Maria (RS)



A Figura 31 representa a composição anaglifa por pares estereoscópicos de imagens verticais recobertas pelo deslocamento no eixo longitudinal, com leves deslocamentos e pausa para estabilização do equipamento. A imagem da esquerda (a) e a imagem direita (b) originaram a criação anaglifa 3D (c).

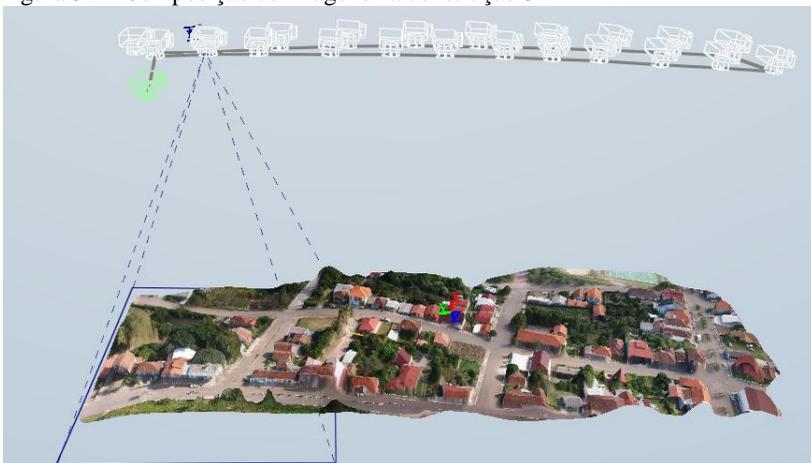
Figura 31 – Composição anaglifa vertical, de uma amostra urbana da Cidade de Silveira Martins - (RS).



4.7 Imagens para representação do terreno

O processo para verificar uma simulação em terceira dimensão consistiu em fazer tomadas fotográficas em torno de 360° ou ao longo de uma faixa dos pontos de interesse, de modo a obter as mesmas cenas da imagem em ângulos ou alturas diferentes, de tal forma que depois de processadas possam recriar o modelo em 3D. Nesse caso, foram duas faixas de voo da região urbana de Silveira Martins (RS). O aplicativo utilizado foi o Autodesk123D (de distribuição gratuita). A criação do modelo em 3D com imagens obtidas pelo *drone* são possíveis tanto para modelos de elevações como de depressões. Nesse processo, é de fundamental importância que os posicionamentos do *drone* para obtenção das imagens sejam acompanhados pelo *videolink*, pois assim ficará garantido o recobrimento, superposição de imagens e alturas necessárias. Esta construção, no aplicativo adequado, dá informações das feições do terreno, volumes e áreas abrangentes. A Figura 32 exemplifica o resultado de uma aplicação de imagens para construção do modelo espacial do terreno.

Figura 32 – Composição de imagens na construção 3D



4.8 Inspeções aéreas

O equipamento, devido a sua fácil manobrabilidade e voo pairado, permitiu tomadas fotográficas que podem auxiliar em trabalhos de inspeções aéreas nas mais variadas atividades, tais como: construção civil, inspeção aérea em redes de transmissão, inspeção do patrimônio histórico, entre outras. A Figura 33 foi utilizada para verificação das condições do telhado de uma residência a ser restaurada. Por meio do controle pela estação base e aproximação via RC, puderam-se verificar detalhes no telhado que dão a real situação do estado em que se encontra e o tipo de restauração necessária.

Figura 33 – Inspeção aérea



Na Figura 34, pode-se observar através de uma imagem panorâmica horizontal obtida no limite da uma área apropriada para o voo, de um bairro das proximidades. Como a imagem é de alta resolução, é possível ampliar o suficiente para observação de detalhes de atualização da base cadastral. Dessa forma, poder-se-á explorar uma determinada área com limite de aproximação e fornecer uma imagem panorâmica.

Na Figura 35, o equipamento está posicionado para verificar detalhes de uma antena de transmissão.

Figura 34 – Panorâmica horizontal



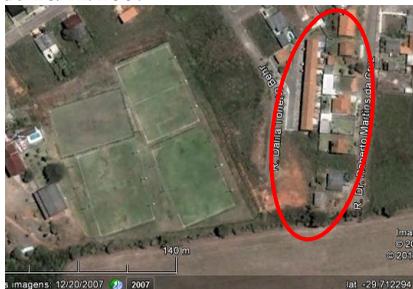
Figura 35 – Detalhes da antena



4.9 Atualizações cadastrais

No limite da área de testes, fez-se uma decolagem para visualizar áreas urbanas, as quais facilmente podem ser vistas em detalhes quanto à construção. A Figura 36 apresenta uma imagem do *Google Earth*, de 20/12/2007, que foi comparada com a imagem da direita conforme Figura 37, obtida pelo VANT *md4-1000*, em 11/01/2012, às 9 horas e 37 minutos. Podem-se observar detalhes quanto às construções, bem como o incremento residencial de um período para outro. Para a complementação cadastral quanto aos limites legais, fazem-se necessárias consultas aos órgãos competentes.

Figura 36 – Imagem do *Google Earth* de 20/12/2007



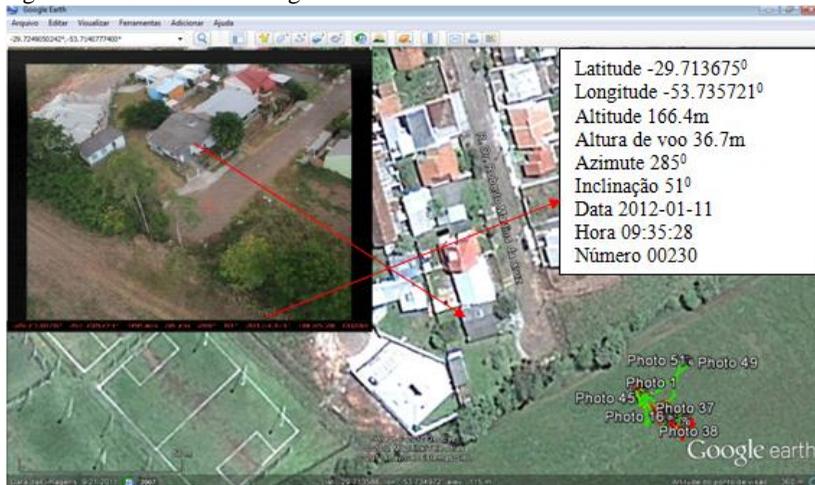
Fonte: *Google Earth*

Figura 37 – Imagem obtida pelo VANT em 11/01/2012



Nessa comparação pode-se observar, com detalhes, as modificações ocorridas no espaço urbano ao longo de quatro anos, através dos geossensores embarcados no VANT com a imagem disponibilizada pelo *Google Earth*, típica informação para dados de sistemas cadastrais em áreas urbanas. Na Figura 38 é apresentada a edificação em detalhe, gravada pelo *mdCockpit* com seus respectivos metadados.

Figura 38 – Detalhes da imagem e seus metadados



Fonte: *Google Earth* (adaptado pelo autor)

Na Figura 39, pode-se observar a rota de voo executada gravada pelo *mdCockpit*, que está sincronizada com as informações gravadas

pelo *mdCockpit* da Figura 40, as quais foram lançadas pelo aplicativo no *Google earth*, Figura 41. A imagem correspondente no solo ao ponto plotado pode ser observada na Figura 42.

Figura 39 – Rota de voo gravada no *mdCockpit* (voo 82)

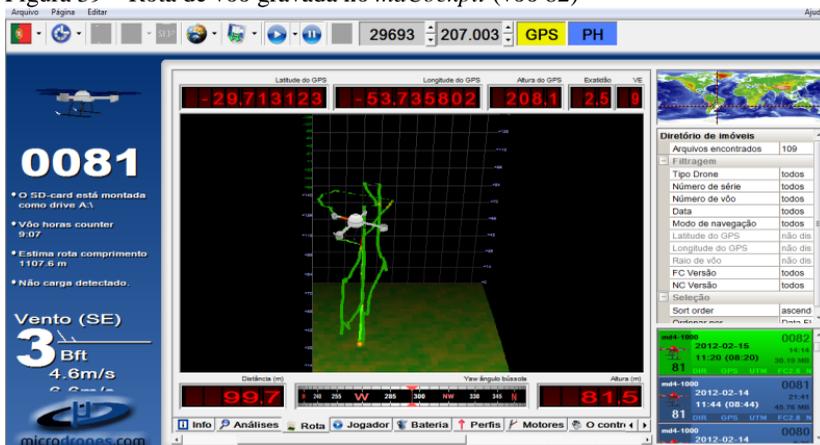


Figura 40 – Informações gravadas pelo *mdCockpit*

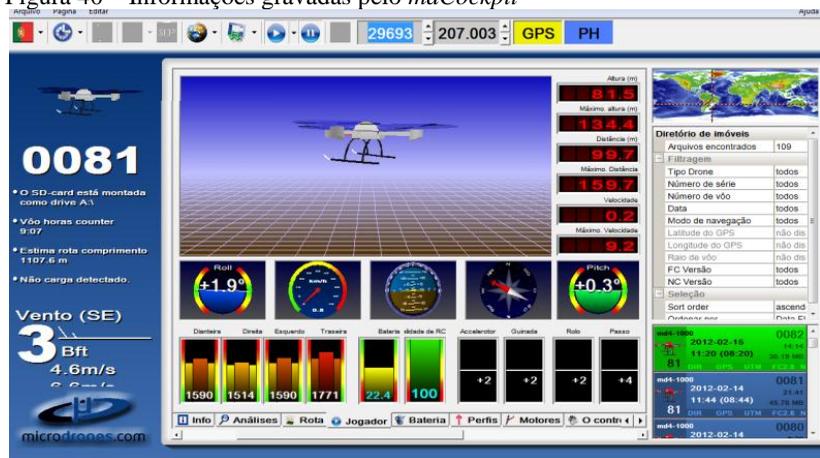


Figura 41 – Rota de voo do *mdCockpit* lançados no *Google Earth*



Exemplos das demais telas de informação relacionados ao voo podem ser consultados no Apêndice C.

Figura 42 – Imagem correspondente ao ponto plotado (photo 13)



Essas sequências de informações, associadas às relacionadas no item 4.5, servem para comprovar a rota de passagem, identificar a

imagem correspondente e extrair todos os metadados correspondentes ao ponto imageado.

Pelas Figuras 39 a 42, percebe-se que a tomada de uma simples imagem pode vir adicionada de uma série de informações que poderão identificá-la no tempo e espaço. Na captura direta através da estação base a imagem apresenta os registro direto dos metadados assim como quando baixadas em um aplicativo de visualização de imagens adequado (Picasa ou PhotoME), enquanto que nas informações baixadas no *Google Earth* os metadados necessitam do aplicativo do *Google* mais a rota registrada pelo *mdCockpit*. As coordenadas geográficas obtidas nas diversas formas apresentam variações toleráveis pela precisão do GPS. Conforme Figura 42, é uma imagem 12 *megapixels*, que, ampliada em 100%, permite que possam ser vistos os detalhes de conservação e acrescentamento do patrimônio, assim como benfeitorias, limites e percentual construído.

4.10 Mosaicagem

O processo de mosaicagem por fotografias inclinadas consistiu em reunir um conjunto de imagens de um mesmo local, porém obtidas em azimutes diferentes, de modo que esse conjunto através de um processamento adequado pelo *software* Hugin, reconstituiu a cena em seu todo. Sabe-se que os melhores resultados são obtidos em imagens verticais, mas neste trabalho optou-se também por um conjunto de 12 imagens inclinadas, Figura 43.

Figura 43 – Conjunto de imagens inclinadas



Estas foram escolhidas por ser uma situação comum em recobrimentos de grandes áreas por *drones*. Utilizou-se o *software* Hugin por ser um aplicativo livre e apresentar bons resultados. A Figura 44 apresenta uma montagem de imagens coletadas pelo *drone* e processadas para a mosaicagem.

Figura 44 – Cena reconstituída a partir das imagens inclinadas, no bairro Novo Horizonte, Santa Maria (RS)



O processo de mosaicagem por fotografias verticais consistiu em reunir um conjunto de imagens de uma mesma região, porém obtidas em posições diferentes de modo que este conjunto através de um processamento adequado pelo *software* Hugin e reconstituiu a cena em seu todo. Neste trabalho, optou-se por um conjunto de 12 imagens verticais, conforme a Figura 45.

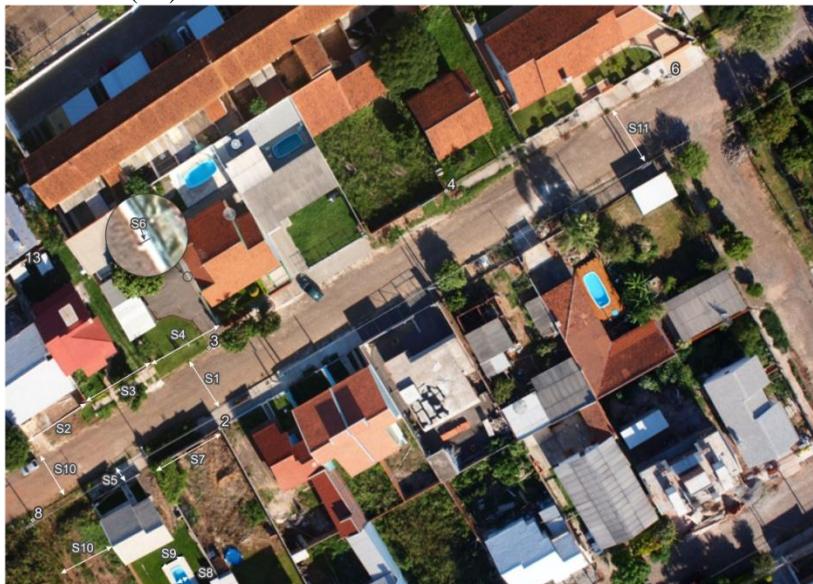
Figura 45 - Imagens verticais, no bairro Novo Horizonte, Santa Maria (RS)



A Figura 46 apresenta uma montagem de imagens verticais coletadas pelo *Drone* e processadas para a mosaicagem no aplicativo Hugin. A cena reconstituída da simulação do processo pode ser vista em:

<<http://www.youtube.com/watch?v=mGGUealSBr4&feature=youtube>>

Figura 46 – Mosaicagem vertical, cena reconstituída, no bairro Novo Horizonte, Santa Maria (RS)



A Figura 46, também representa um exemplo de mosaico georreferenciado no aplicativo SIG ArcGIS® 9.2 (licença do Colégio Politécnico da UFSM) onde utilizou-se o sistema de projeção UTM Zona 22 Sul e Datum SIRGAS 2000, a partir de pontos de apoio levantados no terreno pelo sistema RTK.

A tabela 5 apresenta nomenclatura e as coordenadas relativas a numeração dos pontos de apoio levantados para o georreferenciamento.

O mosaico da figura 46, permitiu que fossem feitas algumas medidas a campo e comparadas as obtidas pelo aplicativo Global Mapper. A tabela 6 apresenta estes valores.

Tabela 5 – Pontos de apoio levantado para o georreferenciamento

Ponto	Descrição	E (Coor. UTM)	N (Coor. UTM)	h (Altitude Elipsoidal)	H (Altitude Ortométrica)
2	muro	235.323,968	6.709.885,228	114,562	105,122
3	quina calçada	235.312,072	6.709.890,972	114,279	104,839
4	muro	235.311,399	6.709.936,762	113,570	104,130
6	canto lajota	235.316,436	6.709.975,582	112,591	103,151
8	poste	235.319,629	6.709.845,233	115,973	106,533
13	quina muro	235.283,304	6.709.870,986	116,304	106,864

Tabela 6 – Comparativo entre os valores levantados a campo e os processados no aplicativo Global Mapper

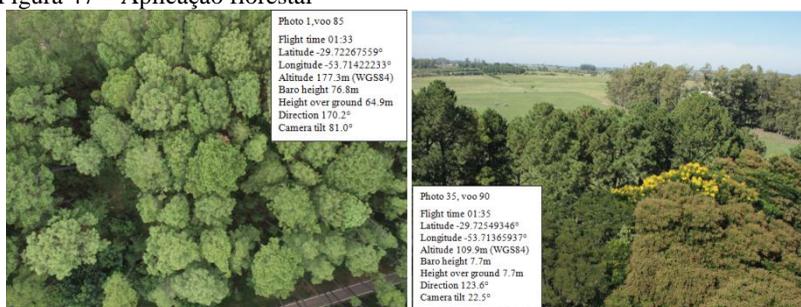
Número Segmento (S)	Descrição do local	Valor levantado (m)	Valor processado no Aplicativo Global Mapper (m)	Diferença (m)
S1	largura rua 1	9,00	9,103	0,103
S2	testada 1 (interna)	13,70	13,446	0,254
S3	testada 2 (externa)	14,10	14,069	0,031
S4	testada 3 (interna)	13,9	14,475	0,575
S5	largura calçada	3,00	3,138	0,138
S6	largura muro	0,15	0,1518	0,0018
S7	Testada 4 (externa)	14,00	14,917	0,917
S8	largura piscina	2,50	2,534	0,034
S9	caixa piscina	5,00	4,950	0,050
S10	Largura rua 2	9,00	9,068	0,068
S11	largura rua 3	9,00	8,790	0,210
S12	terreno baldio	13,90	13,711	0,189
Diferença média				0,0919

Os valores levantados a campo comparados com os tomados sobre o mosaico georreferenciado ficaram em média, 9 cm defasados dos valores reais.

4.11 Inspeções florestais

Na Figura 47, é demonstrado um exemplo para aplicações florestais, bem como os metadados correspondentes. As imagens permitem classificar as espécies, cálculos de volumes de copas e identificação de plantas doentes.

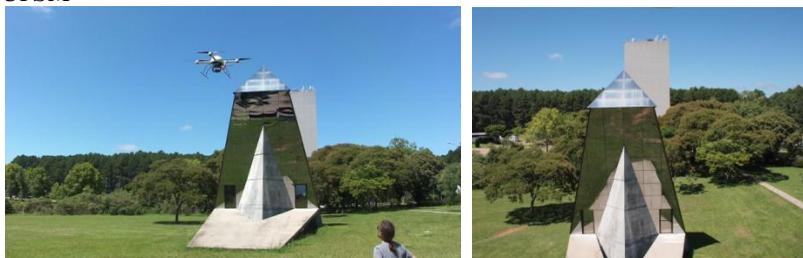
Figura 47 – Aplicação florestal



4.12 Levantamento do patrimônio cultural

Conforme já relatado, a fácil manobrabilidade do equipamento, associada aos recursos de telemetria e vídeo em tempo real, permite que sejam feitas tomadas fotográficas em detalhes para avaliação, planejamento e restauração de patrimônios culturais. Na Figura 48, uma decolagem das proximidades permitiu levantar pormenores do obelisco José Mariano da Rocha.

Figura 48 – Voo 088, levantamento do obelisco José Mariano da Rocha – UFSM



O obelisco José Mariano da Rocha, ilustrado na Figura 48, é uma homenagem ao fundador da UFSM. A construção leva as pessoas a verem uma pirâmide cercada de vidros e, com uma iluminação especial, simbolizando “a luz que a educação traz à vida das pessoas”.

4.13 Resultados técnicos obtidos

Considerando as especificações técnicas previstas, o Quadro 16, apresenta alguns resultados comparados obtidos.

Quadro 16 – Resultados técnicos obtidos

Estabilização	Tem boa estabilização em condições climáticas ótimas, porém com ventos o sistema fica reagindo constantemente de forma que não se tem segurança da sua posição exata, mas isso fica registrado em seu cartão de voo, nas gravações do <i>videolink</i> . Na condição do sistema estar fazendo muitas compensações, o consumo de carga da bateria principal aumenta consideravelmente.
Rádio transmissor	Tiveram-se muitos problemas com o rádio transmissor, porém a grande vantagem do seu sistema de segurança é que com a perda do sinal ele paira no local, quando o sinal retorna pode-se recuperar o comando. No caso em que não houve a recuperação do sinal, o <i>drone</i> entrou no modo de emergência, aproximou-se do solo e foi comandado o pouso. Constatou-se também que na região da UFSM a perda de sinal foi mais frequente.
Carga útil utilizada	460g, correspondente à câmera fotográfica completa (bateria e objetiva)
Tempo de voo	Voou no máximo 30 minutos (Bateria carregada, ventos moderados, sem câmera fotográfica).
Faixa de temperatura operacional	Testado entre 10°C e 38°C
Umidade tolerável	Testado entre 20 e 60%

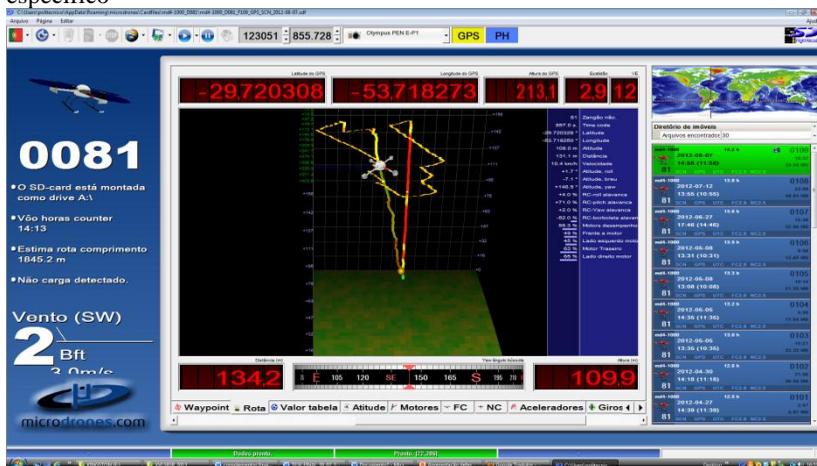
Dados de registro de voo	Grava a imagem e os dados de telemetria respectivos no cartão de memória, porém em uma qualidade inferior das imagens obtidas diretamente da câmera.
Telemetria	O transmissor de telemetria (<i>downlink</i>) para monitorar os parâmetros de voo da estação base, em tempo real, em algumas operações não funcionou ainda não se sabe por quê.
Razão de subida	7,5 m/s
Velocidade de cruzeiro	1,5 m/s
Máximo de impulso	118 N
Raio de voo	Foi testado em um raio de distância de 200 m.
Altura	Foi testado até a altura de 180m
Altitude	Foi testado em áreas com de 103 m em média, acima do nível do médio dos mares (região de Santa Maria – RS), em áreas de 440 m em média, acima do nível médio dos mares (região de Silveira Martins – RS).
Autonomia	Equipado com a câmera Olympus EP1(460g) e com carga máxima da bateria conseguiu-se autonomia de voo por 26 minutos.
Sistemas de emergência	Foi testado o sistema de rádio por perda de sinal, por bateria fraca e pelo modo <i>Home</i> (retorno ao ponto de partida). Em todos os casos, apresentou resposta positiva.
Após a execução do voo	Através do aplicativo <i>mdCockpit</i> , no modo de leitura de cartão, foi possível verificar a rota executada em 3D e enviá-la ao <i>Google Earth</i> , para serem analisadas as passagens sobre o terreno.
Ventos	Apresentou instabilidade, com ventos acima de 3,5 m/s. Em 19/12/11 (voo #54), foi feito um voo com rajadas de vento; o equipamento reagiu com as diferenças, porém não o suficiente para mantê-lo estabilizado e nem para reagir a comando
Ventos (continuação)	

de retorno. Ventos acima de 3,5 m/s; o sistema balança muito e a imagens saem prejudicadas pelo balanço do sistema estabilizador.

4.14 Metadados relativos a representação tridimensional da rota do voo

O aplicativo *mdCockpit* possui uma janela a qual se pode visualizar a reconstrução tridimensional da rota voada, Figura 49. Para isso basta posicionar o cursor sobre ponto de análise da rota e aparecerão as informações relacionadas a esse ponto. Se o gráfico não for girado, a direção da frente para trás é a direção do norte.

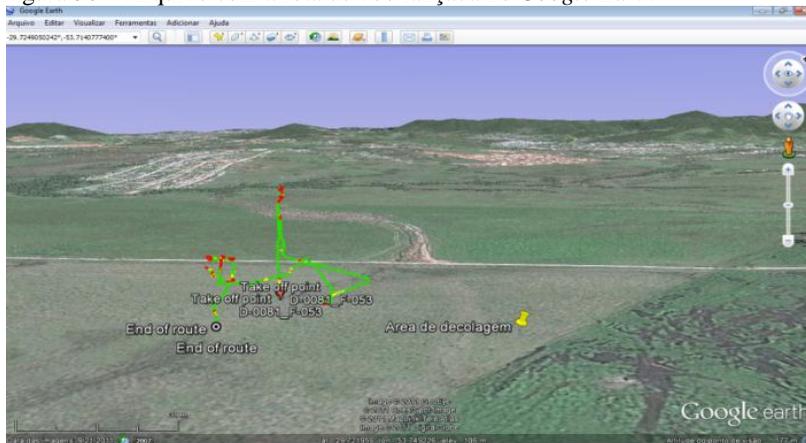
Figura 49 – Visualização da rota do voo #109 e parâmetros de um ponto específico



Nessa tela, Figura 49, apenas é possível uma reconstrução precisa do voo se o drone foi equipado com GPS. Segmentos do voo que por qualquer motivo não tiverem posição GPS são interpolados usando-se informações dos acelerômetros. Se todo o voo carece da posição do GPS, o erro de posição e velocidade bem como os dados de aceleração vai aumentar com o tempo e podem ser muito grande no final. As etapas de voo que foram reconstruídos a partir do INS são desenhadas em cinza, enquanto aquelas com sinal do GPS são coloridas. A cor é uma função da potência necessária para os motores e, portanto, o consumo de energia.

As coordenadas GPS aparecem praticamente em todos dados do *mdCockpit*, expressadas em graus decimais. É conveniente selecionar este mesmo formato no *Google Earth* para o caso em que se queira usar as aplicações conjuntamente. A rota de voo registrada pode ser encaminhada ao *Google Earth*, onde pode ser visualizada como uma rota de três dimensões sobre a imagem do satélite. O *mdCockpit* gerará um arquivo KML adequado e o lançará ao *Google Earth* automaticamente onde poder-se-á ativar o modo de visualização de relevo para aumentar o efeito realista do gráfico 3D. Com essa ferramenta pode-se comprovar a rota programada com a efetivada. A Figura 50 exemplifica a disposição sobre o terreno em uma imagem do *Google Earth*, cada ponto imageado traz nesta função os mesmos metadados do arquivo de voo do *drone*. No caso de se importar imagens do *Google Earth* para a programação de rotas e georreferenciamento, deve-se desabilitar a opção de relevo, pois, neste caso a imagem importada será distorcida e pode levar a um planejamento de voo incorreto.

Figura 50 – Arquivo com a rota de voo lançada no *Google Earth*



O arquivo KML gerado pode ser salvo e enviado a qualquer usuário interessado, com isso segue os metadados gerados pelo *mdCockpit* relativos aos disparos do obturador.

4.15 Teste do GSD (*Ground Sample Distance*)

No voo #89, foram obtidas 14 imagens do “alvo”, Figura 51, com o intuito de se avaliar o comportamento do equipamento na subida vertical e altura adequada para análise de pormenores da imagem.

Figura 51 – Imagens do teste



Na Tabela 7, pode-se observar pelas coordenadas dos pontos e o ângulo de referência *yaw* que o *drone* tem uma subida vertical estável.

Por questões de segurança do local (rota de tráfego aéreo militar), a altura máxima atingida foi de 82,4m, então para o tamanho do pixel de 4,1472 μ m da câmera Olympus EP₁, isto representa uma qualidade de aplicação de 0,02m de GSD.

Tabela 7 – Coordenadas dos pontos e os ângulos de referência.

Photo	GPS Time	Timecode	Latitude	Longitude	GPS-A.	Height	Roll	Pitch	Yaw	Pitch servo	Roll servo
1	11:21:18	27.204	-2.971.368.819	-5.373.572.460	131.5	7.8	+5.6	+4.2	+151.0	+42.8	+45.0
2	11:21:27	36.696	-2.971.367.680	-5.373.572.572	132.0	7.6	+4.2	+5.4	+149.6	+42.8	+45.0
3	11:21:31	40.191	-2.971.367.622	-5.373.572.798	131.1	7.6	+3.5	+4.2	+154.3	+42.8	+45.0
4	11:21:42	51.444	-2.971.367.387	-5.373.572.980	136.6	12.5	+5.6	+1.6	+152.6	+42.8	+45.0
5	11:21:44	53.429	-2.971.367.723	-5.373.573.242	136.4	12.3	+3.6	+4.1	+150.8	+42.8	+45.0
6	11:21:56	65.678	-2.971.367.638	-5.373.571.593	148.2	23.5	+6.7	+3.1	+153.8	+42.8	+45.0
7	11:22:03	72.947	-2.971.367.541	-5.373.571.239	149.3	24.1	+5.0	+3.5	+153.0	+42.8	+45.0
8	11:22:16	85.939	-2.971.367.954	-5.373.571.801	162.0	36.9	+4.6	+2.9	+153.7	+42.8	+45.0
9	11:22:31	100.217	-2.971.368.737	-5.373.572.349	187.3	60.3	+3.8	+4.8	+152.7	+42.8	+45.0
10	11:22:42	111.471	-2.971.368.039	-5.373.571.573	187.6	60.3	+5.1	+4.4	+152.8	+42.8	+45.0
11	11:22:57	126.927	-2.971.368.267	-5.373.572.387	210.7	82.3	+3.6	+1.7	+153.9	+42.8	+45.0
12	11:23:02	131.714	-2.971.367.959	-5.373.571.894	210.1	82.4	+5.6	+2.9	+153.2	+42.8	+45.0

4.16 Retificação de imagem

Um conjunto de 10 imagens, Figura 52, foi utilizado na composição para o levantamento cadastral. Como se tratava de imagens obtidas por câmera não métrica e, portanto com a perspectiva da imagem muito pronunciada estas passaram por um processo de

restituição fotogramétrica amparada por 13 pontos de apoio descritos na Tabela 8. Os pontos foram levantados por RTK (*Real Time Kinematic*) com precisão de 0,003m. O aplicativo utilizado na restituição das imagens foi o LPS (*Leica Photogrammetry Suite*).

Figura 52 – Imagens a serem restituídas.



Tabela 8 – Coordenada dos pontos de apoio.

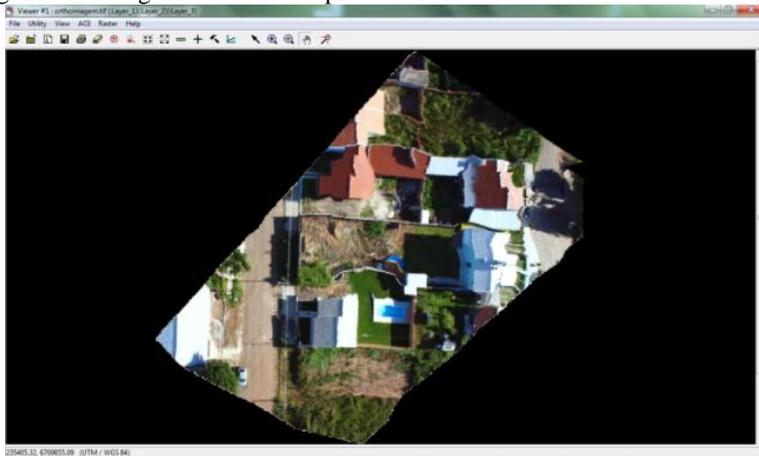
PONTOS	Latitude (S)	Longitude (W)	DESCRIÇÃO
1	29°42'48,21228"	53°44'09,78372"	vértice_calçada
2	29°42'46,70349"	53°44'09,13738"	muro
3	29°42'46,50793"	53°44'09,57459"	calcada
4	29°42'45,02139"	53°44'09,55927"	muro
5	29°42'44,04039"	53°44'07,04004"	vértice_calçada
6	29°42'43,76543"	53°44'09,33783"	canto_lajota
7	29°42'43,65247"	53°44'07,95194"	calcada
8	29°42'47,99809"	53°44'09,33390"	poste
9	29°42'47,28370"	53°44'07,19981"	vértice_calçada
10	29°42'46,36923"	53°44'07,23999"	muro
11	29°42'47,67181"	53°44'08,28576"	muro
12	29°42'45,85212"	53°44'11,58789"	Vértice/calçada
13	29°42'47,13441"	53°44'10,66168"	muro/cobertura

A restituição das imagens baseada em levantamentos de campo por pontos de controle originaram uma modelagem digital do terreno, um mosaico retificado e uma imagem fotogramétrica ortorretificada. Numa análise com todas as imagens, os dados obtidos confrontados aos obtidos in loco resultou em medidas, incompatíveis com as reais. Quando feita por pares, os resultados foram satisfatórios.

Embora mantendo a verticalidade, cada imagem obtida pelo processo manual, possuem parâmetros diferentes; foram levantados 13 pontos de controle de terreno para apoiar a restituição fotogramétrica. Numa primeira tentativa foram utilizadas 5 imagens e restituídas no LPS

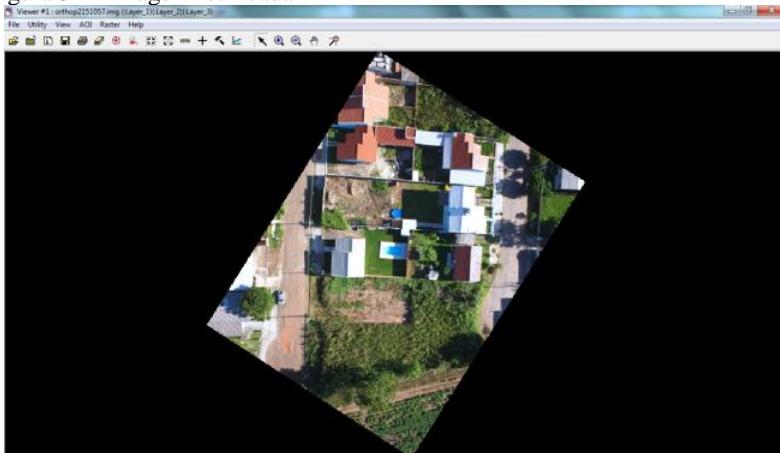
(*Leica Photogrammetric Suite*), porém os resultados foram insatisfatórios, resultando em uma imagem distorcida e sem definição, conforme mostra a Figura 53.

Figura 53 – Imagem resultante do processamento



O processo foi repetido com duas imagens e recobrimento superior a 80%. O aplicativo processou com facilidade e o resultado foi de uma imagem retificada, com erros mensurados inferiores a 5%. Conforme mostra a Figura 54.

Figura 54 – imagem retificada



O que se pode concluir, é que, como são imagens não métricas obtidas pelo modo assistido, os parâmetros de orientação são muito variados (Apêndice D – Lista dos parâmetros para as imagens obtidas através do relatório de voo do *drone*) e em alguns casos, os ângulos de rotação ultrapassaram 5°, quando, um resultado satisfatório só foi acontecer entre duas imagens.

Os produtos fotogramétricos originados carecem de precisão cartográfica, pois os aplicativos de processamento fotogramétricos levam em conta percentual de recobrimentos e alturas constantes, que no modo manual foram conseguidas, porém sem uma regularidade. Mesmo assim resultaram em uma boa mosaicagem e georreferência adequada a uma base cadastral inicial.

Dois testes fotogramétricos foram feitos no aplicativo gratuito educacional E-foto. Os testes serviram para avaliar a aplicação das imagens em fotogrametria. Nestes testes foram feitas imagens verticais e levantamentos terrestre de pontos de controle. A tabela 7 traz uma comparação dos dados de atitude fornecidos pelo aplicativo E-foto e arquivo de voo do drone.

Tabela 9 – Comparação dos dados de atitude de voo

Imagem	Fonte	X0 (m)	Y0 (m)	Z0 (m)	Φ Pitch (graus)	ω Roll (graus)	K Yaw (graus)
Voo#103	E-foto	236.684,64	6.709.619,01	205,96	3,44	-0,79	12,19
Ft 545/ 09	<i>Drone</i>	236.639,31	6.709.556,57	207,8	0,1	-1,6	68,6
Voo#103	E-foto	236.709,33	6.709.626,42	206,38	2,45	-0,05	13,53
Ft 546/10	<i>Drone</i>	236.666,37	6.709.566,76	208,2	1,1	-2,8	67,2
Voo#103	E-foto	236.736,74	6.709.635,51	207,42	0,76	0,76	13,23
Ft 547/11	<i>Drone</i>	236.693,79	6.709.577,40	207,1	0,5	-3	68,3
Voo#109	E-foto	237.147,25	6.708.814,79	249,92	7,42	7,42	-65,26
Ft 414/29	<i>Drone</i>	237.025,28	6.708.862,81	259,1	-0,7	-1	143,7
Voo#109	E-foto	237.181,95	6.708.755,81	210,03	26,79	26,79	-67,02
Ft 415/30	<i>Drone</i>	236.991,65	6.708.904,24	259,3	-4,8	1,3	142,7
Voo#109	E-foto	237.180,25	6.708.767,12	206,64	17,73	17,73	-67,17
Ft 416/31	<i>Drone</i>	236.991,48	6.708.905,07	259,4	-5,8	2,3	143,9
Voo#109	E-foto	237.180,30	6.708.750,59	241,58	2,93	10,84	-65,76
Ft 417/32	<i>Drone</i>	236.973,39	6.708.925,92	259,3	-6,2	-0,9	143,5

Obs.: os dados não se relacionam. É necessário que sejam feitos outros testes para definir quais dados de atitude de voo melhor condizem com a realidade das fotos.

4.17 Variações de altura na faixa de voo

No intuito de verificar o comportamento do voo na execução de uma faixa fez-se 18 testes de comportamento de voo, conforme Tabela 8. Os testes foram comandados pelo modo assistido, as variações foram de um mínimo de 0,13m a um máximo de 0,79m totalizando uma variação média de altura de voo de 0,48%. Estas variações aconteceram independentemente da vontade do piloto e podem ser atribuídas às interferências atmosféricas ou ao sistema de estabilização do *drone*.

Tabela 10 – Variação da altura de voo na execução de uma faixa contínua.

Número do voo	Data /local Número de faixas	Hora Decolagem (Z)	Altura Média (m)	Variação (m)
Flight #82	15/02/2012 Novo Horizonte - Fx1	11:20	82,06	0,31
Flight #86	03/03/2012 Área Politécnico - Fx1	13:27	107,99	0,79
Flight #86	03/03/2012 Área Politécnico - Fx2	13:27	106,1	0,23
Flight #93	17/03/2012 Área Pinus - Fx1	15:50	94,84	0,56
Flight #94	31/03/2012 Área Pinus - Fx1	13:35	123,4	0,56
Flight #98	16/04/2012 Silveira Martins - Fx1	14:12	76,79	0,42
Flight #98	16/04/2012 Silveira Martins - Fx2	14:12	17,25	0,35
Flight #99	18/04/2012 Silveira Martins - Fx1	17:22	140,47	0,16
Flight #99	18/04/2012 Silveira Martins - Fx2	17:22	144,33	0,26
Flight #99	18/04/2012 Silveira Martins - Fx3	17:22	76,43	0,73
Flight #100	27/04/2012 Arroio do Viado - Fx1	14:10	120,01	0,35
Flight #100	27/04/2012 Arroio do Viado - Fx2	14:10	84,32	0,21
Flight #100	27/04/2012 Arroio do Via do- Fx3	14:10	111,89	0,3
Flight #102	30/04/2012 Arroio do Viado - Fx1	14:18	189,38	1,2
Flight #102	30/04/2012 Arroio do Viado - Fx2	14:18	116,54	0,68
Flight #103	05/05/2012 Área Pinus- Fx1 - Fx1	13:35	86,24	0,13
Flight #103	05/05/2012 Área Pinus - Fx2	13:35	104,35	0,14

Variação média

0,43

4.18 Inspeções de obras

A Figura 55 apresenta um exemplo de aplicação para inspeção do andamento da obra a fim de verificar o estágio da cobertura e a terraplanagem do estacionamento do centro de multiuso da UFSM. A Figura 56 apresenta um exemplo de aplicação para inspeção do andamento da obra do PAC (Programa de Aceleração do Crescimento) da vila Monte Belo. Voo #107, dia 27/06/12 às 14:44 horas, Voo #110 dia 14/09/2012 às 14:15 horas, respectivamente.

Figura 55 – Obras do centro multiuso



Figura 56 – PAC Monte Belo



4.19 Aplicações Didáticas

As imagens obtidas pelo *drone* também estão servindo como material de estudo prático nas disciplinas de Fotointerpretação, Figura 57 e Fotogrametria, Figura 58, no curso superior em Tecnologias de Geoprocessamento do Colégio Politécnico da UFSM. Nas atividades relativas à fotointerpretação, os alunos puderam identificar os elementos de interpretação, estimar a finalidade e as dimensões aproximadas; calcular a escala aproximada do voo e a da foto; calcular a porcentagem de recobrimento; calcular o tamanho do GSD e calcular a área no terreno abrangida pela foto.

Figura 57 – Aula de Fotointerpretação



Figura 58- Aula de Fotogrametria



Nas atividades relacionadas à fotogrametria, as atividades foram, a partir de imagens obtidas pelo *drone* com recobrimento longitudinal e pontos de apoio relativos a essas imagens, levantadas pelo sistema RTK, por meio do aplicativo E-Foto e procedidas as etapas fotogramétricas, tais como: orientação interior, orientação exterior, foto triangulação, extração do modelo digital de elevações, obtenção de ortoimagem e restituição fotogramétrica tridimensional da superfície do terreno representada em um modelo estereoscópico.

Os resultados foram satisfatórios, porém ainda precisam ser mais bem trabalhados.

5 DISCUSSÕES

Nesta etapa, são comparados, avaliados e criticados os resultados alcançados inicialmente propostos. Discutem-se aqui seus valores absoluto e relativo. A apresentação dos fatos e etapas paralelas, generalizações cautelosas e enumeração das questões que ocorreram para as quais não foram encontradas respostas e que requerem ainda estudos e pesquisas além do limite deste trabalho.

Embora este equipamento tenha um elevado potencial de aplicação, em contrapartida tem uma série de restrições, que também foram consideradas e apresentadas ao longo da dissertação. Portanto cumpriu o foco principal do trabalho que foi de avaliar o potencial do quadrotor *md4-1000* como plataforma na obtenção de dados espaciais.

A metodologia aplicada consistiu desde a operacionalização do equipamento, treinamentos, programações e testes de voo em modos de operações diversos, porém por questões técnicas os resultados apresentados referem-se a operação no modo assistido.

Após um longo período de ajuste do equipamento os resultados demonstrados apresentaram eficiência para determinadas funções, porém ainda carecendo de mais pesquisas e testes. Inicialmente, este equipamento, foi escolhido para a pesquisa por apresentar características que se entendiam como importantes para aplicações científicas, especialmente as relacionadas ao cadastro técnico multifinalitário, passou a despertar interesse da comunidade geral, levando a sugestões de aplicações em situações que inicialmente nem foram pensadas.

Muitas foram às tentativas de obtenção de sua total potencialidade, pois a realidade apresentada nos folders de aplicação difere em muito da prática de campo. Depois de 84 decolagens (até o voo #114), e muitas idas a campo frustradas, foram preciso até que fossem alcançados os resultados relatados.

Uma série de imprevistos, devido à falta de informações específicas por parte do fornecedor, manuais adaptados e incompletos, bem como problemas de ajuste e configurações do equipamento ocorreu até serem obtidos os primeiros resultados positivos. O objetivo deste relato é informar que embora o equipamento tenha uma tecnologia embarcada sofisticada para VANTs, ainda assim pode apresentar deficiências na hora de operação por fatores mais inusitados possíveis.

5.1 Testes de decolagem

Após a chegada do equipamento em 01/07/2011, uma das etapas que foi demorada a acontecer, foi seu funcionamento devido a uma deficiência de comunicação entre o rádio e o receptor do equipamento. Este não estava adequado ao equipamento.

O primeiro teste de voo foi através do modo RC, por que o sistema apresentou falhas de recepção de GPS, e descalibração do magnetômetro, com isso o modo *Dynamic Position Hold* (DPH), não estava ativado e por não apresentar sinal de GPS quase levou a um voo desastroso.

O modo DPH é muito importante, e por padrão é desativado, o que significa que o controle dinâmico da posição, que mantém o *drone* no modo *waypoint* (ponto de interesse), desaparece quando o piloto assume o comando, ou seja, não está disponível para o controle do *drone* através de RC (rádio controle). Isso resultou em deslocamentos indesejáveis por causa do vento. Por exemplo, aconteceu que o *drone*, no momento da decolagem, com ventos de 12 Km/h (3,4 m/s) simplesmente não atendia aos comandos de RC, seguia a direção do vento. Se ativado, o *drone* só se moveria na direção indicada pelo piloto, tornando o manuseio mais fácil e, acima de tudo, seguro.

5.2 Rádio

O rádio não veio na configuração prevista para operar com o *drone*, não mantinha comunicação adequada com o equipamento, resultando com isso falta total de interação piloto/equipamento. Esta etapa foi solucionada através de reconfiguração do rádio, via *online*, pois os manuais fornecidos não trazem este procedimento especificamente para o *drone*. Após contato com a empresa, foi reconfigurado e passou a interagir com o equipamento. Também os procedimentos de operação do rádio não foram esclarecidos, bem como as chaves de operação, tudo foi buscado em várias publicações e insistentes contatos com o fornecedor. Outro problema que ocorreu com o rádio foi que após algumas operações de colocação e retirada de antena, a conexão se afrouxou e o contato *drone* e rádio passou a ser intermitente, com isso o sistema ficou perigoso, pois como não se tinha o comando no momento certo, o equipamento não respondia, ou seja, no momento da intermitência sem sinal, o *drone* voava a mercê do último comando.

Num teste realizado em 20/12/11, voo #57, o sistema *downlink* não recebeu os sinais de telemetria do *drone*, com isso não tinha-se o *prompt* de voo, porém, recebia normalmente o sinal de vídeo da câmera. Apesar de termos colocado o código de ativação do *waypoint*, não executou a rota programada. Não atendeu o modo *home*, e nem acionou o modo de emergência por bateria fraca e perda de sinal rádio. Não se soube o motivo disso. O teste desse dia ficou a mercê da sorte, pois sem a orientação da estação base e com pouca potência da antena do rádio (pouco alcance), a recuperação do controle só foi possível com deslocamentos a pé na tentativa de recuperar o sinal de RC.

Em 26/12/2011, após seis meses de teste, foi feito um contato com o fornecedor, este leu os arquivos de voo e constatou que a potência da antena estava muito baixa, recomendou a troca e ficou de enviá-la para substituição. Nesta fase dos testes, ainda não se conseguiu ativar o modo *waypoint*, e a autonomia de voo não passou de 24 minutos; muito aquém do previsto. Pelas configurações de segurança, deveria retornar ao ponto de origem, no entanto isto não aconteceu.

Até 03/01/2012, voo #64, não atendeu o modo *home* (retorno automático ao ponto de partida), e nem acionou o modo de emergência por bateria fraca e perda de sinal rádio.

Em 03/01/2012, devido a perda de sinal e baixa potência, o fornecedor sugere a troca de antena.

Em 11/01/2012, voo #66, perdeu sinal a uma distância de aproximadamente 50m por mais de 30 segundos. Pela configuração do equipamento, este deveria retornar ao ponto de partida, isso não aconteceu. Voou por 15 minutos e deu alerta de carga de bateria baixa, também não acionou o modo de emergência por bateria fraca.

Em 20/01/2012, voo #69, o sistema voou com rádio deficiente devido ao pouco alcance. Foi feito um teste tirando-se a antena e verificou-se que a eficiência era a mesma, ou seja, não fazia diferença se a antena estivesse conectada ou não.

Em 13/02/2012 foi feita a troca de antena, Figura 59 antena original e Figura 60 antena substituta. Os problemas de alcance de rádio foram resolvidos parcialmente, pois neste dia foi feito o voo #79 e não apresentou deficiências de sinal de rádio.

Em 29/02/2012, voo #85, em uma distância aproximado de 107m o RC voltou a dar sinais de perda de contato com o *drone*, também neste voo foi acionada a chave I, disparador da câmera por 39 vezes, porém tendo como registros somente nove imagens. Este voo também foi feito

sem o auxílio do *dawlink*²², ou seja, sem as informações de telemetria e imagem que orientam o piloto em todas as etapas do voo.

Em 03/03/2012, voo #88, a uma distância aproximada de 25m o RC voltou a dar sinais de perda de contato com o *drone*, como foi por mais de 30 segundos, entrou no modo de emergência e vindo ao pouso.

Em 07/03/2012, voo #89, após 12,6 minutos de voo, altura de 38m e uma distância de 76 m do ponto de decolagem perdeu contato com o RC.

Em 13/03/2012, depois de relatado o problema ao fornecedor, este sugere que o RC foi de alguma maneira danificado e que deverá ser recolhido para manutenção.

Figura 59 – RC antena original



Figura 60 – RC antena adaptada



Obs.: houve três situações que no procedimento de “corte” dos motores, estes não se desligaram, a solução encontrada foi de ligá-los novamente e cortá-los novamente. Não foi esclarecido o motivo deste imprevisto.

5.3 GPS

Antes de se ter ciência da configuração do RC, foi descoberto que o equipamento não estava recebendo o sinal do GPS e, portanto não estava apto para um voo seguro. Como não se tinha o real conhecimento desta influência no resultado do voo e não se tinha conhecimento da condição do RC, mesmo assim fez-se um voo de teste por rádio sem o sistema de apoio por GPS, resultando com isso um voo descontrolado e desgovernado, tendo-se que adotar uma medida extrema de ação, que foi de provocar uma queda do *drone* por corte dos motores. Isto aconteceu porque o equipamento se orienta pelas coordenadas de um ponto de segurança e o ponto registrado ainda era de sua última trajetória de voo,

²² Tela do aplicativo *mdcockpit* que fornece as informações de telemetria

na Europa, com isso ficou totalmente desorientado. Após esta ocorrência, isso relatado a empresa, foi-nos recomendado a não decolagem, pois o problema poderia apresentar riscos. Posteriormente concluiu-se que o problema seria do magnetômetro e que deveria ser feita a troca e uma nova calibração, a partir dos procedimentos recomendados.

5.4 Magnetômetro

Por ser um instrumento muito sensível aos campos magnéticos em suas proximidades, suspeitou-se que o magnetômetro poderia ter sido descalibrado pelo longo período que o equipamento permaneceu sob a influência de campos magnéticos no transporte aéreo ou pela diferença do campo magnético existente entre sua origem e destino. Procedeu-se sua calibração, Figura 61 etapa de programação e Figura 62, etapa de calibração. Estes procedimentos foram executados por 14 vezes e obtendo resultados semelhantes que não satisfizeram a solução do problema. Então, a empresa construtora (Microdrone) optou por nos enviar outro magnetômetro e o manual de instruções para que fosse feita a troca. Procedeu-se a troca e após três novas tentativas de calibração conseguiu-se êxito.

Figura 61 – Programação



Figura 62 – Calibração



Após 84 testes de decolagens e pousos e o levantamento de uma série de imagens no modo assistido optou-se por calibrar novamente o magnetômetro, pois este se apresentava com um percentual baixo de ganho. O magnetômetro foi calibrado, porém o sistema não reconheceu o GPS e não mais possibilitou a partida dos motores. O fabricante sugere que o equipamento retorna a fábrica para uma inspeção geral.

5.5 Baterias

São as principais fontes de energia do sistema, sem elas, em sua plena carga tudo fica comprometido. A bateria que alimenta os sistemas principais do *drone*, a primeira carga apresentou uma série de dificuldades de programação, pois prevê para seu carregamento que as indicações R (número de células detectadas) e S (número de células programadas) sejam iguais. Depois de ajustado os parâmetros previstos, 5A e 22,2V; o normal era que se desse uma pressionada no *start/enter* por 3 segundos e mais um *click* iniciasse a carga. O que aconteceu no início é que não aceitou essa programação e deu mensagem de *check* bateria/ *low voltage*. O manual prevê que quando isso acontece deve-se voltar e corrigir as células. Nada disso foi possível por um bom tempo, até que foi programada para quatro células e iniciado a carga, depois do processo concluído, programado para cinco células e novamente iniciado a carga e finalmente o sistema detectou as seis células coincidindo com o que foi programado e iniciou-se o processo de carga definitivo.

Em outro momento, a bateria principal do *drone* de seis células de LiPo simplesmente deixou de fornecer energia, procedeu-se sua desmontagem, Figura 63, para verificação dos motivos da pane. Foi descoberto que uma das células estava rompida, bem como o sistema de segurança da bateria (fusível). Depois de constatado isso, foi feitas as soldagens e a remontagem do conjunto para dar sequência aos testes e calibração do magnetômetro. Também uma das baterias da estação base não funcionou. Bateria de Lipo de quatro células, não “pegou” carga, com isso os testes com a estação base foram feitos com esta conectada em uma tomada de energia elétrica da rede elétrica no laboratório e no campo com energia proveniente do automóvel. Desta forma, para testes de campo, um automóvel sempre deveria fazer parte dos testes para o fornecimento de energia. Posteriormente constatou-se que esta veio com uma célula danificada sem possibilidade de concerto, Figura 64.

Cabe ressaltar o cuidado que se deve ter na manutenção das baterias, pois todo o conjunto necessita de seis baterias: principal do *drone*, do notebook, da estação base, da antena da estação base da câmera fotográfica e do rádio transmissor. Portanto o êxito da missão de voo vai ficar condicionado à menor capacidade de trabalho de uma dessas baterias.

Figura 63 – Bateria de Lipo 6 células



Figura 64 – Bateria de Lipo 4 células



Obs.: a câmera fotográfica no modo filmagem consome cerca de três vezes mais energia que no modo foto.

5.6 Estação base

A estação base concentra todas as informações relevantes para o voo usando o aplicativo *mdCockpit*. O *decoder downlink* recebe a telemetria do *drone* e exibe todos os dados quanto à voltagem da bateria, altitude, posição, atitude, duração do voo, velocidade, distância, temperatura ambiente, rotações do motor, *status* e muitos outros detalhes (CARTOGALICIA, 2010).

De acordo com Cartogalicia (2010), os dados de telemetria são visualizados em um cenário virtual na tela de um *laptop* e para que o piloto mantenha o *drone* em sua visão em todos os momentos, o *mdCockpit* fornece os dados mais críticos do voo em áudio, como o estado da bateria, qualidade da posição fixa GPS, velocidade do vento e qualidade do *link* de rádio.

Em todas as informações de operação da estação base, por nenhum momento é citado que esta além de ser carregada com a bateria tem um dispositivo na antena que permite seu sincronismo com a antena transmissora do *drone*, esta responsável pela transmissão e recebimento dos dados de *videolink*. A estação base esteve desligada ou não ajustada por vários momentos dos testes, obviamente contribuindo para que o sistema não funcionasse em consonância. Depois de ajustada a antena estação base passou a receber informações provenientes do *drone*, porém estas ainda não eram as ideais para o procedimento de voo. Após troca de informações com o fornecedor, este sugere que o rádio seja afastado por mais de 15 m, para que a estação base processe melhor o recebimento do sinal. Refeitos os testes, os resultados continuaram os mesmos. A sugestão agora é que sejam feitas novas calibrações do magnetometro. Para mais informações, consulte item 5.4.

Em 20/12/2011, voo #57, em um dos testes de campo a estação base não recebeu os sinais de telemetria, somente os de *vídeo link*, neste caso, não se tem o “*prompt*” de decolagem. A decolagem foi realizada assim mesmo e o voo ficou por conta do controle de tempo e de posição no modo assistido.

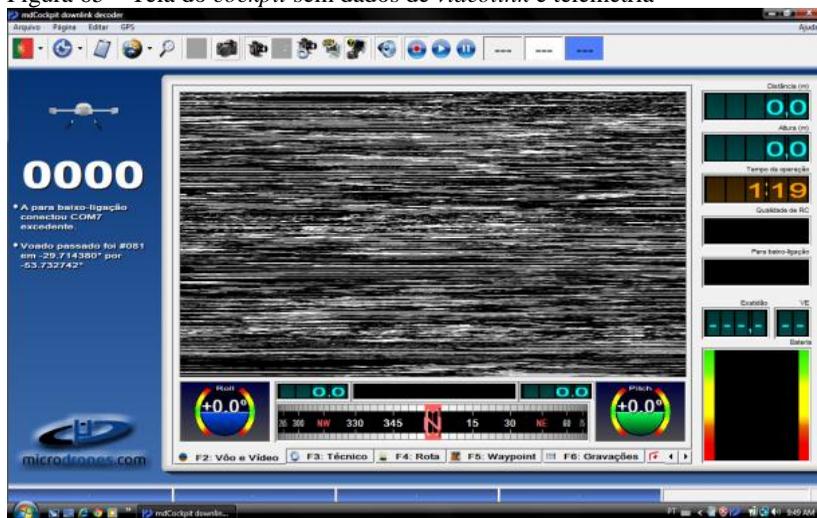
Em 22/12/2011, voo #60 em um dos testes de campo a estação base não recebeu os sinais de vídeo link, somente sinais de telemetria, a decolagem foi realizada assim mesmo, neste caso as imagens foram obtidas com o posicionamento visual do *drone* sobre o alvo escolhido. Nesse teste, o objetivo era a obtenção de uma série de imagens em torno do alvo, de modo que em seu processamento posterior se pudesse construir o modelo 3D. Consequência disso foi desperdício de tempo para o posicionamento adequado e muitas imagens descartadas e o não recobrimento necessário para esta finalidade.

Em 03/01/2012, voo #63, a estação base operou sem o sintetizador de voz, como o voo era assistido, esta fez muita falta, pois não teve-se os alertas de segurança.

Em 09/02/2012, depois de sete meses da chegada do equipamento ainda tinha-se os seguintes problemas: o *drone* que não recebia telemetria, não se comunica com o *cockpit*, não transmitia a imagem, não aciona a câmera por telemetria; o modo *waypoint* não aceita ativar; o sinal de RC não era estável, porém funcionava na decolagem e corte dos motores. Quanto ao modo de voo autônomo, este nunca ativou, não se sabe se é porque a rota não foi adequada ou a sequência de ações não foram as corretas ou simplesmente problemas técnicos. A Figura 65, apresenta a tela do *mdCockpit* sem a recepção dos sinais.

Após a troca da antena, o rádio passou a se comunicar com o *drone*, porém ainda sem sinal de telemetria. O fornecedor sugeriu que fosse verificado primeiramente se a saída de tensão do videotransmissor está em 15V DC. Verificação dos cabos e certificação de que os *drivers* da placa de captura de telemetria (FTDI) estejam bem instalados. Feito tudo isso, o problema persistia.

Figura 65 – Tela do *cockpit* sem dados de *videolink* e telemetria



Cabe ressaltar, ainda, que a estação base guarda em sua memória, em uma pasta denominada de *downlink*, todos os quadros relativos às imagens capturadas com os metadados necessários para o seu georreferenciamento. Para rotas fotográficas feitas sem seu auxílio, é necessário que seja confrontado os dados do relógio da câmera na foto, com os dados correspondentes do relógio do GPS, no relatório de voo. Para isso, é imprescindível que os relógios estejam sincronizados.

5.7 Modo autônomo

A princípio o sistema não veio com o código de ativação por *waypoint* este código é de fundamental importância, pois sem ele não dá para se ativar voos por rotas programadas. Depois de alguns contatos com o fornecedor, este enviou o código previsto, (20697_69830). Apesar de inserido o código de ativação do *waypoint*, por várias tentativas não executou a rota programada. Novamente, após outros contatos recebeu-se instruções para mudar para outro código (20027_22666) e finalmente para o código *wpe* 20023_94966, com as instruções de conectar o *drone* no modo FC com o computador, abrir o terminal do *mdCockpit* digitar o código pressionar enter, digitar *write* (para enviar o novo código ao sistema), pressionar *enter*, digitar “*wpe?*” (para verificar o estado atual do modo *waypoint*). Até o final desta

pesquisa não se obteve sucesso na ativação deste modo. Muitos testes deverão ser efetuados quando este modo estiver em funcionamento.

5.8 Planejamento de rota

Cabe aqui ressaltar a importância das configurações dos sistemas, pois caso isto não seja levado em conta, os procedimentos são ineficientes ou simplesmente não comandados, isto ocorreu principalmente na questão da separação das casas decimais por vírgulas onde deveriam ser por pontos. As configurações do sistema operacional também devem ser lavadas em consideração, caso contrário corre-se o risco de os comandos funcionarem parcialmente prejudicando com isso programações de voo e *download* dos dados.

Passaram-se oito meses de testes operacionais do equipamento para que se comprovasse a eficiência dos modos de emergência por perda de sinal de RC, por bateria fraca e modo de retorno autônomo ao ponto de partida (modo *home*).

5.9 Câmera fotográfica

O parafuso original de fixação da câmera ao *drone* não apresentava segurança quando adaptado ao suporte, foi necessário torneá-lo de modo que a rosca pudesse fixá-lo com segurança.

Nos voos #85, #86, #87 e #88 começaram a aparecer problemas de captação de imagem. O RC comanda a câmera, o cartão SD registra os respectivos dados, porém não houve registro de imagens pela câmera. Posteriormente constatou-se que isto acontecia por um retardo de três segundos entre o comando por RC e o disparo do obturador da câmera fotográfica.

5.10 Cartão SD

O cartão SD detém todas as informações necessárias para a execução do voo. Em um teste de voo pelo modo autônomo, este não executou não se sabe se foi por falta de sinal de rádio ou se o plano de voo não foi adequadamente inserido. No entanto após este teste, em uma conferência de captação de telemetria, o *drone* iniciou um processo de autoexecução, sem rádio e sem comando de ligar motores e sem sinais de telemetria, tudo parecia uma autoexecução do modo *waypoint*. Como não se previu essa execução nesse momento e não se tinha segurança sobre o que estava acontecendo, o processo foi interrompido

desconectando-se a bateria. Com essa atitude o sistema entende que foi uma decolagem não executada, pois ele só computa as decolagens se estas forem finalizadas pela chave de execução. Com isso teve-se que reconfigurar o sistema formatando-se o cartão de controle e inserindo-se novos comandos. O programa utilizado para a formatação foi o “SDFormatter” e foi recarregado novamente com as instruções de comando do *drone*.

5.11 Qualidades das informações

O Quadro 17, apresenta dois exemplos de metadados extraídos em duas fotos consecutivas obtidas em dois voos diferentes, sem que fossem alterados os parâmetros de voo.

Quadro 17 – Metadados extraídos de fotos consecutivas em épocas diferentes

Voo #055 19/12/11	Voo #055 19/12/11	Voo #057 20/12/11	Voo #057 20/12/11
Photo 1	Photo 2	Photo 1	Photo 2
Flight time 13:16	Flight time 13:19	Flight time 01:58	Flight time 02:11
Latitude -29,72242969°	Latitude -29,72243186°	Latitude -29,72272013°	Latitude -29,72272129°
Longitude -53,74661535°	Longitude -53,74662366°	Longitude -53,74805762°	Longitude -53,74805646°
Altitude 123,7m (WGS84)	Altitude 124.0m (WGS84)	Altitude 121,5m (WGS84)	Altitude 121,4m (WGS84)
Baro height 16,2m	Baro height 16,5m	Baro height 14,3m	Baro height 14,2m
Height over ground 17,0m	Height over ground 17,2m	Height over ground 13,4m	Height over ground 13,3m
Direction 56,6°	Direction 59,6°	Direction 92,2°	Direction 61,2°
Camera tilt 81,9°	Camera tilt 74,7°	Camera tilt 67,5°	Camera tilt 65,7°

Pode-se observar que parâmetros como altura, altitude de voo, e ângulo da câmera não deveriam ser alterados, no entanto houve ligeiras modificações. Este exemplo serve para alertar da necessidade de se verificar os dados relativos às imagens específicas, pois como o equipamento reage às condições atmosféricas, mesmo por poucos segundos pode-se ter imagens próximas com dados de telemetria bem distintos.

5.12 Reconstituição de imagens a partir de várias cenas fotográficas

O equipamento, no modo assistido, pode ser facilmente conduzido a posições diversas para onde a cena necessita ser fotografada mais de uma vez ou em ângulos e distâncias variada conforme simulação Figura 66.

Mostrou-se como uma alternativa eficaz para a realização das interseções na reconstituição da cena a fim de proporcionar melhores precisões na localização de pontos e identificação de detalhes arquitetônicos nos mais diversos níveis de altura e ângulos a partir dos pontos homólogos.

Figura 66 – Representação de disposições para levantamento de detalhes



5.13 Imagens e metadados correspondentes

Como alguns voos foram e podem ser feitos sem auxílio do *mdCockpit*, no modo assistido, e mesmo assim obter imagens importantes para fotointerpretação, estas ficam registradas no cartão de memória da câmera bem como seus respectivos metadados. Os metadados relativos a cada voo ficam registrados no cartão SD do *drone*. Um exemplo pode ser consultado no Apêndice D.

Acontece que às vezes têm-se registros de voo e não registros de imagens ou vice-versa, isso acontece quando o sinal de RC não for o ideal ou os disparos foram feitos em intervalos curtos de tempo (menos de 3 segundos). Mas sempre que há registro de imagens da câmera, há o respectivo registro de voo, pois significa que a câmera recebeu o sinal RC de disparo. Pode acontecer de dois acionamentos consecutivos de RC serem registrados, mas o intervalo de tempo não ser o suficiente para acionar a câmera, então ficam registrados dois ou mais metadados de voo e apenas uma imagem. Considerando ainda que cada decolagem

é um novo arquivo de voo e começa uma nova contagem, as imagens na câmera seguem uma sequência cronológica desta.

Quando isso acontece tem-se uma série de imagens com um ou mais arquivos de voo e o problema consiste em identificar a correspondência das imagens com seus respectivos metadados no arquivo de voo. Os metadados que se pode associar a imagem da câmera com seu correspondente no relatório de voo são a data e horário da foto. Então é muito importante que o relógio da câmera esteja ajustado a um relógio atômico (Observatório Nacional – Rio de Janeiro), já que o relógio do GPS, do *drone*, é ajustado em tempo real.

O processo consiste em, de imediato, identificar a data e hora da primeira foto, comparada a hora do primeiro registro de voo. No relatório das listas de parâmetros das ações na fotografia, de imediato, tem-se o horário em que foram ligados os motores, e um dos parâmetros é o tempo em segundos da obtenção da imagem a partir de ligado os motores. Quando o número de fotos for diferente dos registros podem-se lançar como auxílio os metadados obtidos a partir do lançamento da rota de voo no *Google Earth*. Este dará outros parâmetros que poderão auxiliar na identificação. A experiência com esta situação mostrou que embora algumas imagens possam ser descartadas isso só deverá ser feito após identificação das imagens aproveitadas com seus respectivos metadados e que a simples comparação dos relógios não dá certeza de sincronismo, pois sempre há um tempo de retardo entre o registro do voo com o registro do acionamento da câmera.

5.14 Discussões da literatura

Historicamente os VANTs tiveram sua origem nas bombas voadoras guiadas e utilizadas na segunda Guerra Mundial em meados do século XX; já os quadrotoros têm sua origem datada do início do mesmo século, com os irmãos Bréguet e Richet. Não tinham estabilidade satisfatória para o voo comandado e o projeto foi abandonado, mas introduziram a ideia de pares de rotores rodarem em sentidos opostos para eliminar o torque das hélices. Assim, não precisaria do rotor de cauda para eliminar o antitorque, como acontece com os helicópteros tradicionais.

Muitas experiências, relatos e estudos com os mais diversos sensores e plataformas aéreas não tripuladas são encontrados nas mais diversas publicações. Ao que se pode perceber, todas tiveram seus ganhos, embora passando por situações diversificadas. É evidente que

os VANTs têm uma série de limitações, mas pode-se perceber que estão evoluindo gradativamente e se colocando a disposição para uma série de aplicações.

Os planejamentos de voo, execução e a capacidade de processamento demonstraram ser rápidos para uma missão específica. Os sistemas autônomos de voos ainda são pouco citados, mas já demonstram sua tendência de aplicação. Não foram encontrados na revisão muitos sistemas estabilizados ou pró-ativos, nem se escreve muito sobre suas limitações, mas pode-se perceber que as plataformas tendem a se superarem na aquisição e na qualidade dos dados.

As imagens mais comuns disponíveis são as imagens não retificadas, a instabilidade da plataforma contribui muito para isso, porém nestas já é possível identificar a estrutura principal da região ou pontos específicos e reconhecer características, que não são visíveis a partir do solo.

Na Alemanha, os chamados micros VANTs, com um peso total menos de 5 kg, podem ser usados no espaço aéreo não controlado abaixo de 300 m. Outras restrições aplicam-se, porém, especialmente nas zonas urbanas, o que significa que as aplicações em áreas escassamente habitadas, por exemplo, para a silvicultura, as conservações da natureza e da agricultura estão na vanguarda da investigação dos micros VANTs. Nesse contexto é perfeitamente compreensível que se invista em seu desenvolvimento a sua construção, áreas que estão em franca expansão.

Embora existam inúmeras formas alternativas e tentativas de sensoriamento remoto de custo variado, é bom lembrar que esses inevitavelmente carregam características próprias, limitações, vantagens e desvantagens. Isso faz com que o usuário tenha que se esclarecer de suas aplicações limitações, bem como do melhor produto a ser obtido.

Os VANTs podem ser usados como plataformas de mapeamento. Essas plataformas são equipadas com sistemas de medição fotogramétricos, câmeras de vídeo, sistemas de câmera térmica ou infravermelha, câmeras multiespectrais, sensores LiDAR, ou uma combinação destes, dependendo da capacidade de carga útil do VANT. Além disso, para a determinação da trajetória os VANTs têm por característica padrão um sistema GNSS / INS integrado (Sistema de navegação por Satélite / Sistema de Navegação Inercial), altímetro barométrico e sistemas de bússolas.

Os VANTs não só abrem diversas novas aplicações no domínio do perto, combinando fotografia aérea e terrestre, mas também introduz

novas alternativas de aplicação em tempo real e de baixo custo para a fotogrametria aérea tripulada clássica.

5.15 Questões respondidas

1) O que se conhece hoje?

A proposta inicial do trabalho foi buscar no VANT quadrotor *md4-1000*, uma ferramenta de auxílio às questões cadastrais. Depois da aquisição do equipamento, um dos primeiros desafios foi operacionalizá-lo para a obtenção de imagens e processamento dados que tivessem aplicabilidade fotogramétrica na atualização cadastral. No entanto, a pesquisa tomou um rumo que não estava sendo considerado, que foi o de resolver as questões técnicas já citadas no transcorrer dos tópicos anteriores.

Hoje, sabe-se que a questão não é tão simples. O domínio das tecnologias incorporadas faz uma grande diferença no ponto do comprometimento total do projeto. Os recursos não contemplavam treinamentos ou cursos de operacionalização e isso fez muita falta. Não foram poucas às vezes em que tudo parecia sem solução, mas, com persistência, foi-se em busca da superação. Muito se avançou e agora se sabe até onde essa tecnologia pode nos auxiliar e até onde vão suas limitações, mas sabe-se também que têm um grande potencial de pesquisa e que poderão ser desenvolvidas, deixando grandes contribuições ao CTM.

2) Qual o ganho efetivo?

Para projetos pequenos em escalas grandes, depois de dominadas as técnicas e o equipamento ajustado à configuração adequada, são muito útil no georreferenciamento, atualização da base cadastral e na obtenção de modelos estereoscópicos para a fotointerpretação. É uma metodologia que pode dar respostas rápidas na busca de dados espaciais e atualizações temáticas. No caso da atualização do cadastro urbano, quando a meta principal é a identificação das alterações de ocupação do solo, estas fotos também podem ser utilizadas em cidades de pequeno e médio porte.

Assim como tem aplicações positivas o equipamento pode ser usado a inúmeras formas indevidas, que não cabe aqui discuti-las.

3) Quais são as variáveis envolvidas?

As variáveis engajadas em um projeto de aquisição de dados por este sistema vão desde a operacionalização do equipamento, cuidados com a manutenção, programação de rotas, considerações as limitações do equipamento, respeito às leis vigentes, condições climáticas e restrições às áreas de atuação.

Após esta pesquisa, pôde-se ter na prática, a experiência completa da aplicação do VANT quadrotor *md4-1000*, na obtenção de dados espaciais para aplicações multifinalitárias. O processo passou pelas etapas de aquisição, depois por um minucioso trabalho operacionalização para deixá-lo em condições de voo, por muitos planejamentos frustrados de voo autônomo, manutenções do equipamento, coleta de dados por voos assistidos, procedimentos de análises e processamentos.

4) Quais as principais vantagens encontradas em relação aos sistemas tradicionais?

Sem dúvida, o sistema completo e na sua eficiência plena é um valioso instrumento para se obter imagens de pequeno formato, em escala grande, com resolução temporal na escala dos minutos. A operação do sistema, depois de compreendida é bastante simples. Os custos de manutenção, depois de o equipamento funcionar em sua plenitude se reduzem a zero. Os custos de operação se reduzem a cargas de baterias. O sistema de segurança, depois de bem compreendido seu funcionamento é muito eficaz, desde que sejam respeitadas todas as normas e limitações pertinentes. A montagem e desmontagem é muito prática. Decola e pousa em espaços reduzidos a pouco mais do seu tamanho.

A vantagem mais significativa da utilização do VANT *md4-1000*, refere-se ao fato dele ter incorporado em suas características básicas preocupações pertinentes à fotogrametria tradicional, tais como estabilidade de voo por sensores inerciais e GPS, altura constante, registros das informações de toda a rota de voo, georeferenciamento de imagens, facilidade de programação de planejamentos de voo, manobralidade e os parâmetros para restituição fotográfica.

Outra vantagem nesse sistema de quadrotor é que o impulso é usado somente para compensar o peso e não para contrariar o torque, porque os quatro rotores eliminam o efeito giroscópico, assim o empuxo é totalmente utilizado para transportar a carga. Não há equipamento ou sistema de transmissão para seu comando e nem servos auxiliares para a navegação. A velocidade de cada rotor determina a direção do voo.

Assim, os motores elétricos e a velocidade relativamente lenta dos rotores garantem baixas vibrações e o sistema opera em nível de ruído muito baixo.

O quadrotor *md4-1000* é equipado com um sistema abrangente de “caixa preta” (cartão SD) que registra cada movimento de controle de voo e comandos de posição. É o mesmo princípio usado na aviação tradicional para permitir a análise detalhadas do sistema.

O sistema não necessita de local de decolagem e pouso preparado, pode estar no ar em poucos minutos após a chegada ao local da missão. Também é equipado com muitos recursos de segurança para evitar que o operador cometa erros graves, e garanta um pouso seguro no caso de haver um problema técnico. Sua construção é rígida e ao mesmo tempo de baixo peso e com peças flexíveis, assim é possível operar em locais povoados, sem perigo de prejudicar seriamente pessoas ou as infraestruturas urbanas.

5) Quais as principais desvantagens encontradas em relação aos sistemas tradicionais?

Sua autonomia de voo se reduz a carga das baterias, isto também está condicionado ao *payload* e as condições atmosféricas. Nos testes para esta pesquisa, não passou de 30 minutos.

Embora tenha recursos de estabilização, é muito instável em rajadas de vento e consome muita energia na estabilização.

A manutenção é restrita a empresa fabricante. A bateria do sistema principal é pesada. Quando o sistema não funciona corretamente, correm-se riscos e perde-se muito tempo com alternativas de solução. O sistema ainda não é reconhecido no espaço aéreo segregado e ainda não tem regulamentação específica.

Nesta pesquisa, a assistência técnica foi muito precária, os resultados alcançados foram a duras custas de insistências junto aos fornecedores, muito exercício de paciência e inúmeras idas a campo sem sucesso.

6 CONCLUSÕES

O equipamento foi construído com tecnologias que permite sua utilização para diversas finalidades; possui um sistema de segurança que o protege de uma série de imprevistos, mas mesmo assim é recomendável que um especialista operacional dê os primeiros subsídios.

Neste trabalho, por problemas técnicos, a maioria dos dados levantados foram obtidos no modo assistido, e ainda assim com restrições de alcance de rádio e carga de bateria. Portanto é de fundamental importância que antes de operacionalizar em missões reais, todos os sistemas estejam em condições ótimas de acordo com as especificações previstas.

Essa ferramenta ainda precisa ser mais explorada, mas já se podem obter bons resultados na área do cadastro, servindo para atualização de bases cartográficas cadastrais, identificação de construções não declaradas, identificação de novos loteamentos e assentamentos irregulares, descrever a situação fundiária, esquematizar ruas e construções. Percebeu-se, ao longo das pesquisas que, o equipamento tem elevada aplicação no reconhecimento visual e categorização dos elementos do terreno.

Ao longo das pesquisas também, percebeu-se que é crescente a utilização de veículos aéreos não tripulados, bem como levantamento por videografia para a elaboração de mapas do espaço agrícola, úteis na estimativa de safra e avaliação do meio ambiente, porém muito pouco no campo do cadastro. Cada vez mais está se buscando soluções mais rápidas, baratas e com maior precisão. O uso de câmeras fotográficas para obtenção de fotos de médio e pequeno formato, não métricas, possibilita também a geração de imagens georreferenciadas e, por conseguinte, a produção de mapas de uso geral com boa precisão e baixo custo, se comparado a um levantamento convencional por aerofotogrametria.

Como é um equipamento recente no mercado brasileiro, e com uma metodologia ainda pouco desenvolvida, o VANT/quadroter carece de mais pesquisas e de atualização dos profissionais envolvidos. Esta proposta se completará com mais investigações das publicações científicas adotadas em outros países, bem como de projeto específicos.

Considerando ainda que os equipamentos em voo estão constantemente sujeitos as intervenções atmosféricas, os ajustamentos para manterem-se seus posicionamentos são constantes, portanto quanto

mais recurso de estabilização as aeronaves dispuserem, melhores resultados fotogramétricos serão alcançados.

Estes equipamentos são reconhecidos como ambientalmente corretos por serem veículos elétricos, silenciosos, portanto não poluidores, que permitem:

- a) escolher pessoalmente as fotos em tempo real no local e em qualquer ângulo, sabendo exatamente o que você está fotografando, inclusive de locais inacessíveis aos sistemas convencionais;
- b) utilizar um GPS integrado, permitindo voos programados e geoestacionários, vídeo e telemetria transmitidos em tempo real em uma estação terrestre ou de um computador;
- c) interromper a qualquer momento o voo automático para o manual e vice-versa;
- d) retornar ao ponto de partida em caso de perda do sinal do GPS, perda do sinal RC ou de bateria fraca, por meio de seus programas de segurança;
- e) ser equipados com outros geossensores, para buscas especiais.

Essas afirmações passaram por avaliações trazendo resultados que apresentam relevância destes equipamentos no campo tecnológico e na sua contribuição para a melhoria do Cadastro Territorial Multifinalitário e áreas afins.

Ainda, no Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM), o equipamento, em sua plenitude, demonstra um grande potencial no suporte para o planejamento físico/espacial, urbano ou rural e para um princípio de estruturação de um Plano Diretor. Também se coloca como uma nova tecnologia visando a gestão territorial, baseado nos princípios do Cadastro Técnico Multifinalitário no que se refere ao uso da terra, monitoramento de ocupações irregulares e deslizamento de encostas, fiscalização de assentamentos relativo à desapropriação e apoio ao (re)ordenamento territorial. Ainda pode dar suporte a um cadastro detalhado ou a um cadastro mínimo que seja para regiões de difícil acesso, apoiar no planejamento turístico, na construção de imagens em 3D ou na elaboração de projetos de realidade aumentada para aplicações cadastrais. Levantar o detalhamento requerido para satisfazer às necessidades atuais ou elaborar um mapa topográfico em grande escala, mapa cadastral.

Para a gestão das informações espaciais, nas administrações municipais, é inegável o poder da informação nos processos decisórios. Esta ferramenta é um recurso tecnológico que juntamente com

instrumentos de informática, dão a possibilidade de realizar trabalhos com maior rapidez, menores custos e disponibilizar informações com mais facilidade. Com isso poder-se-ia levantar informações de imóveis não cadastrados de difícil acesso ou de acesso não permitido.

Face ao exposto, pôde-se concluir que o uso do VANT quadrotor *md4-1000* é possível na atualização do cadastro técnico multifinalitário, no entanto, é preciso conhecer todas as variáveis que estão envolvidas, desde sua operacionalização até o processamento final dos produtos cartográficos. No caso da atualização do cadastro urbano em cidades de pequeno e médio porte, onde a meta principal é a identificação das alterações de ocupação do solo, estas imagens podem ser utilizadas, com vantagem em relação aos custos dos recobrimentos tradicionais, pois a evolução da informática e da fotogrametria está facilitando, cada vez mais sua utilização na cartografia e cadastro, uma vez que é possível retificar estas imagens através de aplicativos computacionais específicos de forma rápida e segura, bem mais simples que os usados na fotogrametria analógica. O fato de se limitar a levantamentos de pequenas áreas pode ser contornado por planejamentos fragmentados de áreas e posteriormente fazer a composição destas.

Embora o aplicativo *mdCockpit* para o planejamento de voo e o VANT *md4-1000*, permitam diversas configurações de câmeras fotográficas, nesta pesquisa foi utilizado somente a Olympus EP1. Dispositivos de *laser scanners* tendem a ser miniaturizados, e acredita-se que, em um futuro próximo, possam ser aerotransportados em VANTs, com isso dando outras perspectivas de aplicação.

Perde-se muito tempo e energia das baterias em posicionamentos no modo assistido sem o apoio da estação base, a precisão fica muito prejudicada. Nas imagens obtidas com o *drone* se deslocando, pode acontecer de quando se usa o modo com o intervalômetro da câmera, o eixo vertical fica deslocado proporcionalmente ao empuxo da hélice traseira para provocar o deslocamento.

A utilização de câmeras de pequeno formato é justificada principalmente pela capacidade do sistema e para pequenas áreas levantadas, uma vez que grandes áreas exigiria uma grande quantidade de fotos que inviabilizaria a sua utilização, devido a limitação operacionais e a retificação das imagens. Isso comparado com os trabalhos que se despenderia no caso das fotos convencionais, são recomendadas principalmente para mapeamento temático, no qual é

mais importante a extração das informações do que os aspectos geométricos da imagem fotográfica.

A tendência dos VANTs na fotogrametria é para voos autônomos uma vez que são mais precisos e consomem menos energia. Conforme visto no procedimento 8 do item 3.2 no cumprimento de uma faixa simples no modo manual, resultou em variações de alturas de até 0,43m.

O uso do *microdrone md4-1000* também se mostrou como uma tecnologia de grande interesse para estudos florestais, possibilitando o mapeamento de pequenas áreas e levantamentos expeditos. O seu tamanho e o seu baixo peso proporcionam um deslocamento fácil até a área de interesse. As fotos podem ser visualizadas na própria câmera ou baixadas para um *notebook* e assim fazer uma avaliação da necessidade de se obter mais fotografias da área.

O modo de operação manual, por controle remoto, é relativamente acessível, mas exige treinamento e perícia do piloto. Para trabalhos mais criteriosos é necessário utilizar os seus recursos de telemetria e planejamento de voo autônomo, pois possibilitará a realização de diferentes repetições em uma mesma área em diferentes tempos sob os mesmos parâmetros de voo, como altura de voo, velocidade de deslocamento e posição de obtenção das fotografias.

Também se pode considerar, que ao longo da pesquisa, o fato de o VANT *md4-1000* pairar, voar em “ré” e deslocar-se segundo ângulos retos, foram atitudes conduzidas de voo que contribuíram muito na fase em que não se tinha navegação por *videolink* e nem sistema autônomo operacional.

É um equipamento seguro, pois além dos sistemas de segurança incorporados a ele, o fato de ser alimentado por eletricidade permite que perca altura gradativamente, sendo assim não deverá cair em queda livre. Por ser construído com material isolante não corre risco de provocar curtos circuitos. Se operado dentro de suas limitações técnicas, pode ser utilizado em qualquer ambiente externo.

6.1 RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES DE APLICAÇÕES

Cada plataforma aérea tem peculiaridades, cabendo aos usuários se adaptarem a mais adequada às suas necessidades. Porém, cabe ressaltar, que limitações são encontradas em todos os modelos, sejam climáticas, de peso, altura, autonomia e distância, variando conforme as características de cada equipamento.

6.1.1 RECOMENDAÇÕES

Antes de adquirir qualquer equipamento similar a este é muito importante que se tenha um prognóstico de suas reais capacidades técnica, pois a propaganda tende a ser exagerada a ponto de criar expectativas que depois não atendem as necessidades.

É de fundamental importância que na operação do sistema haja inicialmente o acompanhamento de um especialista que o coloque em operação, que dê um treinamento específico, pois caso contrário pode-se passar por situações como as relatadas no item discussões.

Antes do voo é fundamental que seja verificado os níveis de energia dos acumuladores (sistema principal do *drone*, rádio, estação base, antena, computador e câmera foto), e verificação das configurações básicas do rádio.

Em 19/12/11 foi feito um voo com rajadas de vento, e o equipamento reagiu com as diferenças, porém não o suficiente para mantê-lo estabilizado e nem para atender ao comando de retorno. Ventos acima de 3 m/s o sistema balança muito e a imagens saem prejudicadas pelo balanço do sistema estabilizador. Não se recomenda obter imagens nessas condições ou superiores a estas.

É de fundamental importância que nas atividades de campo seja levada em conta a autonomia da carga dos acumuladores, e que se possível levar sempre baterias sobressalentes. Pois o sucesso da missão completa de campo estará condicionado a menor quantidade de carga de bateria dos componentes que integram o conjunto.

Também se apresenta como uma importante ferramenta na atualização do cadastro da planta de valores genérico, no desenvolvimento de croqui e memorial descritivo, na identificação de unidades básicas de cadastro, descrição geométrica da parcela, uso da parcela, informações temáticas, no estudo de impactos de vizinhança, geometria dos dados, auxílio na elaboração de planos diretores e georreferenciamento das parcelas.

Em face aos resultados positivos alcançados e as promissoras aplicações, recomendo que sejam montados projetos, grupos de pesquisas e discussões para tornar esta tecnologia e suas aplicações mais acessíveis. Visto que por trás da comercialização do sistema tem uma severa reserva de mercado.

As conclusões e recomendações aqui apresentadas foram experiências adquiridas depois de 84 voos e fotos.

6.1.2 SUGESTÕES DE APLICAÇÕES

As sugestões de aplicações a seguir estão fundamentadas nas experiências de decolagens e pousos realizados para este trabalho, e pelas observações dos contratempos encontrados. Estas deverão servir para o melhoraria ou incorporação ao cadastro ou quaisquer atividades que necessitem de imagens ou de informações aéreas atualizadas e rápidas, em escala grande, como também para desenvolver aplicações tecnológicas.

Sugestões de pesquisa

- a) A área que poderá ser coberta deverá ser considerada relacionada com a altura de voo, carga da bateria, condições climáticas e *payload*.
- b) As câmeras que poderão ser utilizadas. Nesta pesquisa, por razões técnicas somente foi testado a câmera fotográfica EP1 Olympus, no entanto o sistema permite outras opções tais como: câmara de vídeo, câmeras espectrais, e outras opções que possam vir e ser pesquisadas.
- c) Autonomia com as diversas configurações. Sabe-se que sua autonomia está relacionada com a carga transportada. No caso de se mudar de configuração, deverá ser estudado o tempo necessário de execução.
- d) Manuseio do equipamento. É muito importante que o operador do sistema esteja familiarizado com os comandos de RC. Fundamental para a segurança do equipamento e do seu entorno na área de atividades.

- e) Programação, precisão. Como não foi possível executar voos no modo autônomo, não se tem informações de sua real capacidade de execução de pontos previamente definidos.
- f) Inspeções aéreas, telhados, vizinhanças, campo de visão. Tem vasta aplicação nas inspeções aéreas em geral, porém é uma função que exige habilidade do piloto, requer treinamento adequado.
- g) Utilização do *Google Earth* como auxílio ao planejamento de rotas para o quadrotor. O *Google Earth* está muito integrado a todo o sistema, portanto é necessário identificar o quanto de precisão de dados pode ser obtido. Neste trabalho, foram levantadas algumas defasagens, porém cabe mais pesquisa a respeito.
- h) As dimensões mais apropriadas das áreas a serem recobertas, levando em consideração comportamento em mais de uma faixa, recobrimentos longitudinal e lateral, nível de voo, obtenção da imagem, ponto de parada. Obstáculos à navegação (ventos, carga útil, autonomia, navegação autônoma ou assistida).
- i) Aplicação no levantamento de invasões de terrenos. Esta possibilidade pode ser explorada deslocando-se até uma área segura próxima, decolagem e retorno com as informações desejadas.
- j) Aplicações em inventários, limites territoriais de ferrovias, rodovias, redes elétricas, trilhas e monitoramento ambiental.
- k) Aplicação em inspeções de pontes, torres de energia, avaliar o estado da armação, focos de ferrugem e até que ponto compete interferência.
- l) Auxiliar nos serviços geoinformação que possam ser usados para planejar, responder e recuperar situações de emergência em desastres naturais, fornecendo respostas com precisão de informação quando esta é necessária e com a capacidade de ser atualizada de forma consistente para coletar, manter e armazenar informações vitais relacionadas à infraestrutura, ruas, redes e uso da terra. Informações estas que possibilitam uma resposta ao desastre ter mais coesão.

- m) O quadrotor *md4 1000* utilizado neste trabalho, permitiu a obtenção de fotografias inclinadas por controle do ângulo de inclinação através do RC, comando direto do piloto, direcionando a câmera nas mais variadas posições, obtendo assim imagens panorâmicas de uso geral. Estes produtos carecem de estudos fotogramétricos.
- n) Quando as dimensões exatas dos terrenos não são objeto de interesse, e a necessidade se restringe em fazer comparações, definir percentuais de ocupação de solo, áreas acrescidas, melhorias implantadas, padrões de construção, acessibilidades existentes e características das vizinhanças, onde um mosaico pode ser útil no suporte para confecção de croqui ou planta baixa, o equipamento é perfeitamente recomendável.
- o) Pode muito bem ser utilizados por um consórcio de prefeituras, pois individualmente não necessita constantemente de um destes tipos de equipamentos. Depois de feito um plano de voo, pelo modo autônomo este pode ser repetido, nas mesmas condições, em qualquer outro momento, sendo assim de uso fácil para a verificação do incremento urbano.
- p) Levantamentos de documentação arquitetônica, planejamento e monitoramento urbano.

Para todas estas investigações, cálculos, simulações e experimentos deverão auxiliar na forma e materiais mais adequados a serem empregados. A capacidade de decolagem no modo assistido em condições restritas de pista e espaço aéreo depende de testes e treinamentos com ou sem obstáculos. Os testes servem para reunir dados experimentais a serem utilizados nas práticas. Também são recomendados testes no modo assistido por RC com câmera de vídeo e variados modelos de câmeras fotográficas no sentido de aperfeiçoar os produtos e melhorar o alcance e a utilização do equipamento.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. **Manual of remote sensing**. Falls Church, 1984.

AKAISHI, A. G. **Desafios do planejamento urbano-habitacional em pequenos municípios brasileiros**. Revista de pesquisa em arquitetura e urbanismo, Santo Andre, 2011.

BRASILIANAS.ORG. A nova guerra americana. Disponível em: <<http://goo.gl/alJ5l>>. Acessado em: 19 abr. 2012.

BENTO, M. **Unmanned Aerial Vehicles: An Overview**. Inside GNSS, January/February, pp. 54-61. 2008.

AMORIN, A. **Utilização do cadastro territorial multifinalitário na gestão de riscos**. Universidade Estadual Paulista – UNESP. São Paulo, 2009.

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

ANTUNES, A. F. B. **Cadastro técnico urbano e rural**. Ed. UFPR. Curitiba, 2007.

BARREIRA, E. E. F. **Técnicas automatizadas de extração de dados icnológicos para apoio a estudos paleogeográficos – caso de estudo da foz da fonte**. 128p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geográfica) – Universidade de Lisboa. Lisboa, 2011.

BO, A. P.L.; BORGES, G. A. **Sistema de baixo custo para determinação da atitude com aplicação em VANTs**. Grupo de Robótica, Automação e Visão – GRAV, Departamento de Engenharia Elétrica – ENE, Universidade de Brasília – UnB Brasília, DF, Brasil, 2007.

CÂMERA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 05 mar. 2013.

CAMPOS, R. F. E.; WALDMANN, J. **Determinação da vertical local com girômetros e acelerômetros solidários e filtro de Kalman estendido híbrido**. In: XVIII Congresso Brasileiro de Automática (CBA), Bonito, 2010.

- CARDEIRA, B.; BALTAZAR, F. **Arquitecturas para sistemas de navegação INS/GPS com aplicação a um helicóptero autônomo**. Relatório de Trabalho Final de Curso, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, 2004.
- CARTOGALICIA, S. L. **Manual do md-200, Microdrone**. Manual do usuário, 2010.
- CARTOGALICIA, S. L. **Manual do mdCockpit 2.5, Microdrone**. Manual do usuário, 2010.
- CARVALHO, P. C.; VELHO, L.; SÁ, A.; MEDEIROS, E.; MONTENGRO, A. A.; PEIXOTO, A.; ESCRIBA, L. A. **Fotografia 3D**. Rio de Janeiro, 2005.
- COELHO, L.; BRITO, J. N. **Fotogrametria digital**. Editora da Universidade Do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.
- CORRÊA, M. A.; CAMARGO, J. B. J. **Estudos de veículos aéreos não tripulados baseado em sistemas multi-agentes e sua interação no espaço aéreo controlado**.: Sitraer 7. São Paulo, 2008.
- COSTA, S. E. A. P. **Controlo e Simulação de um Quadrotor convencional**. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Aeroespacial. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2008.
- COSTA, G. C.; SILVA, D. C. **Classificação de mapeamento aerofotogramétrico com imagens de câmeras digitais não-métricas para fins de projetos de estradas**. Revista Brasileira de Cartografia No 61/03, (ISSN 0560-4613). 2009.
- COSTA, F. G.; UEYAMA, J.; BRAUN, T.; PESSIN, G.; OSÓRIO, F.; VARGAS, P. **The use of unmanned aerial vehicles and wireless sensor network in agricultural applications**. 32º International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Igarss). Munique, Alemanha, 2012.
- CUNHA, R. M. P.; BULLA, L. A. S.; HARTMANN, C. **Uso de imagens de pequeno formato como instrumental na elaboração e implantação de projetos costeiros: O Sistema ADAR 1000**. Gravel. Porto Alegre. v.7, n.1, p. 47-56, 2009.
- E-FOTO. Uma Estação Fotogramétrica Digital Educacional Livre**. Disponível em: <<http://www.efoto.eng.uerj.br/>>. Acessado em: 28 jan. 2013.
- DISPERATI, A. A.; AMARAL, R.F.; SCHULER, C.A.B. **Fotografias aéreas de pequeno formato - Aplicações ambientais**. Ed. UNICENTRO, Guarapuava, 2007.

DISPERATI, A. A. **Fotografias Aéreas Inclinadas**, Curitiba: Ed. da UFPR, 113 p. 1995.

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

ERBA, D. A.; OLIVEIRA, F. L.; JUNIOR, P. N. L. **Cadastro Multifinalitário Como instrumento de política Fiscal e Urbana**. Lincoln Institute of Land Policy, Cambridge, MA. Rio de Janeiro, 2005.

ERDAS FIELD GUIDE, 5^a Edition, Revised and Expanded. Atlanta, Georgia, 2010.

ESCOLA DE INSTRUÇÃO ESPECIALIZADA, **foto informação – fotogrametria**, apostila de curso, 92p. São Paulo, 1978.

Esquadrão "Hórus". Aeronaves não tripuladas na FAB. Disponível em: <<http://goo.gl/TDo9>>. Acessado em: 18 abr. 2011.

EVERAERTS, J. *The use of Unmanned Aerial Vehicles (Uavs) for Remote Sensing and Mappin*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing, 2008.

Falcão, primeiro do país em sua classe, pode voar até julho. Disponível em: <<http://goo.gl/PxgWq>>. Acessado em: 24 abr. 2012.

Flight vence licitação da Aeronáutica para avião não tripulado. Disponível em: <<http://goo.gl/8aCl9>>. Acessado em: 24 abr. 2012.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**: Oficina de Textos. 97 p. São Paulo, 2002.

FRYER, J. **Camera calibration. Close range Photogrammetry and machine vision**, K.B. Atkinson, , Whittles Publishing, Caithness, Scotland, pp. 156-180. 1996.

FURTADO, V. H.; GIMENES, R.A.V.; CAMARGO.; J. B. J.; ALMEIDA, J. R. J. . **Aspectos de segurança na integração de veículos aéreos não Tripulados (vant) no espaço aéreo brasileiro**. Grupo de Análise de Segurança – GAS, Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. VII Simpósio de Transporte Aéreo -Sitraer, Rio de Janeiro, 2008.

GRENZDÖRFFER, G.; ENGEL, A. **Eine vergleichende Untersuchung von zwei Micro-UAV's – Perspektiven für die aktuelle und kostengünstige Geoinformationsgewinnung**, In: GIS, 1/2008, 17-25. 2008.

HAMEL, T.; MAHONY, R.; LOZANO R.; OSTROWSKI J. **Dynamic Modelling and Configuration Stabilization for an x4-flyer**. 15th Triennial World Congress, Barcelona, Spain, 2002.

IRSCHARA, A.; KAUFMANN, V.; KLOPSCHITZ, M.; BISCHOF, H.; LEBERL, F. **Towards fully automatic photogrammetric reconstruction using digital images taken from uavs**. 100 Years ISPRS, Vienna, Austria, July 5–7, 2010.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente – Uma perspectiva em Recursos Terrestres** (Tradução INPE), Parêntese, São José dos Campos, 2009.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução José Carlos Neves Epiphanyo (coordenador)... [et al.]. Parêntese. 2ed., São José dos Campos, SP, 2011

JOHANSON, M. **Stereoscopic Video Transmission over the Internet**. WIAPP'01, São Jose, 2001.

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

JORGE, L. A. C.; TRINDADE JUNIOR, O. **Metodologia para Utilização de Aeromodelos em Monitoramento Aéreo**. Embrapa, São Carlos, 2002.

KUHNERT, K. D. **Institute of Real-Time Learning Systems**, University of Siegen, Germany, 2010.

LIMA, O. P.; LOCH, C. **O Uso de Câmaras Fotográficas de Pequeno Formato nos Levantamentos Cartográficos Destinados ao Cadastro Técnico Multifinalitário**. COBRAC, Florianópolis, 1998.

LOCH, C; ERBA, D. A; **Cadastro Técnico Multifinalitário Rural e Urbano**. Lincoln Institute of Land Policy. Cambridge: MA, 2007

LUPATINI, L. C. **Curso Básico de Parapente**. Apostila de Curso, Caxias do sul, 1996.

- MARCHETTI, A. B.; GARCIA, G. J. **Princípios de fotogrametria e fotointerpretação**. Nobel. São Paulo, 1978.
- MARCHETTI, D. A. B.; GARCIA, G. J. **Princípios de fotogrametria e fotointerpretação**. Nobel. São Paulo, 1989.
- MASCHIO, A. V. **Investigação de Processos de Aquisição, Edição e Exibição de Imagens Estereoscópicas em Movimento**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da UNESP, 2008.
- MEISTER, O.; MÖNIKES, R.; WENDEL, J.; FRIETSCH, N.; SCHLAILE, C.; TROMMER, G. **Development of a GPS/INS/MAG Navigation System and Waypoint Navigator for a VTOL UAV**. Proceedings on SPIE Unmanned Systems Technology IX 9- 12. April 2007, Orlando, 2007.
- MICRODRONE. **Md4-1000 Preliminary Users Manual**. EUA, 2010
- MICRODRONE. **Bedienungsanleitung md4-1000**. Alemanha, 2011.
- MOSTAFA, M. M. R.; HUTTON J. **Direct Positioning and Orientation Systems: How Do They Work? What is The Attainable Accuracy? Proceedings**. The American Society of Photogrammetry and Remote Sensing Annual Meeting, St. Louis, MO, 2001.
- MOSTAFA, M. M. R.; SCHWARZ, K. P. **Digital image georeferencing from a multiple camera system by GPS/INS**. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2001.
- NEBIKER, S; ANNEN, A; SCHERRER, M; OESCH, D. **A light-weight multispectral sensor for micro uav – Opportunities for very high resolution airborne remote sensing**. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing, 2008.
- OLIVEIRA, E. J. L.; SILVA, F. R.; BARBOSA, L. F. W. **Dispositivo inercial baseado em giroscópio para aplicação em robótica**. XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos. 2008.
- PEGORARO, A. J. **Uso do paramotor e da grade canadense para obtenção de fotografias e informações aéreas sobre o meio ambiente**. Dissertação de mestrado, Santa Maria, 2000.

PÉREZ, M; AGÜERA, F; CARVAJAL, F. *Digital camera calibration using images taken from an unmanned aerial vehicle*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII-1/C22 UAV-g 2011, Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zurich, Switzerland. 2011.

PEGORARO, A. J.; PHILIPS, J. W. *Quadrotores/Microdrone como Portadores de Geosensores aplicados ao Cadastro Territorial*. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR) Curitiba, 2011.

PHILIPS, J. W. *Anotações de aula*. Florianópolis, 2009.

PIOVESAN, E. C.; SILVEIRA, G. C.; GONÇALVES, J. C. C. **Perspectivas futuras para o projeto SOFIA** (Sistema de Obtenção de Fotos e Imagens com Aeromodelo). In: COBRAC - Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, UFSC Florianópolis. 2004.

Prototype quadrotor with machine gun! Disponível em: <<http://youtu.be/SNPJmK2fgJU>>. Acessado em 29 abr. 2012.

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

QUOOS, J. H.; PEGORARO, A. J.; PHILIPS, J. W.; CASSOL, R. **Comparação entre câmeras fotográficas digitais com GPS para aplicação em geotagging**. XXV Congresso Brasileiro de Cartografia, Curitiba, 2011.

REDWEIK, P. **Fotogrametria Aérea**, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2007.

RIBEIRO, J. C. **Fotogrametria Digital** Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <<http://www.ufv.br/nugeo/ufvgeo2002/resumos/jcristeiro.pdf>>. Acessado em: 19 fev. 2013.

ROCHA, J. S. M. **Manual de interpretação de aerofotogramas**. UFSM Santa Maria, 83 p., 1995.

SAMPAIO, E. **Noções básicas de detecção remota fotogrametria e fotointerpretação em pedologia**. Departamento de Geociências, Universidade de Évora, Portugal, 2007.

SILVA, A. B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: Conceitos e fundamentos**. Ed. Unicamp, 236p. (Coleção Livro-Texto). Campinas, 2003.

SEEBER, “*Satellite Geodesy – Foundations, Methods and Applications.*” Walter de Gruyter. Berlin, New York, 1993.

SHIN, E-H. *Accuracy Improvement of Low Cost INS/GPS for Land Applications.* A thesis submitted to the faculty of graduate studies in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science department of Geomatics Engineering Calgary, Alberta, 2001.

SOUSA, C. M. F. A. **Integração do Sistema GPS/INS para a Monitorização da Linha de Costa do Litoral do Algarve.** Dissertação de mestrado. Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 2004.

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

TAYEBI, A.; MCGILVRAY, S. **Attitude Stabilization of a VTOL Quadrotor Aircraft.** IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2008.

THAMM, H. P.; JUDEX, M. *The “low cost drone” – an interesting tool for process monitoring in a high spatial and temporal resolution ISPRS.* Commission VII Mid-term Symposium "Remote Sensing: From Pixels to Processes", Enschede, the Netherlands, 8-11 May, 2006.

TOVAR, R. B. **Falcão, primeiro do país em sua classe, pode voar até julho.** Disponível em: < <http://www.valor.com.br/empresas/> > Acessado em: 24 abr. 2012.

TOMÉ, P. “*Integration of Inertial and Satellite Navigation Systems for Aircraft Attitude Determination.*” Master Thesis, Department of Applied Mathematics, Faculty of Sciences, Oporto, Portugal. 2002.

VEIGA, J. E. **Cidades imaginárias: o Brasil é menos urbano do que se calcula.** Editores Autores Associados, Campinas. 2004.

VANTs ganham espaço na pesquisa aeronáutica. Disponível em: <<http://goo.gl/LusgQ>>. Acessado em: 16 de mai. 2012.

WIEREMA, M. *Design, implementation and flight test of indoor navigation and control system for a quadrotor UAV.* Master of Science Thesis. Delft University Of Technology Department Of Control and Simulation, Holanda.2008.

WOLF, P. R. *Elements of photogrammetry*. New York, Mc Graw-Hill , 1995.

YAMAUCHI, B.; RUDAKEYVCH, P. *Griffon: A Man-Portable Hybrid UGV/UAV*. Industrial Robot, Massachusetts. 2004.

YANMAZ, E.; KUSCHNIG, R.; QUARITSCH, M.; BETTSTETTER, C.; RINNER, B. *On Path Planning Strategies for Networked Unmanned Aerial Vehicles*. IEEE INFOCOM 2011 Workshop on M2MCN- Austria, 2011.

YANMAZ, E.; BETTSTETTER, C. *Area Coverage with Unmanned Vehicles: A Belief-Based Approach*. IEEE Vehicular Technology Conference, Taipei, Taiwan, 2010.

APÊNDICE A – RELATÓRIO DE CALIBRAÇÃO DA CÂMERA OLYMPUS EP1

Status Report Tree Problems and Suggestions (3) Project Problems (2)

Problem: A large percentage of your points are sub-pixel marked so it is assumed you are striving for a high accuracy result. The largest residual (Point8 - 1.723389) is greater than 1.00 pixels.

Suggestion: In high accuracy projects, strive to get all point residuals under 1.00 pixels. If you have just a few high residual points, study them on each photo to ensure they are marked and referenced correctly. If many of your points have high residuals then make sure the camera stations are solving correctly. Ensure that you are using the best calibrated camera possible. Remove points that have been manually marked unless you need them.

The total photo area covered by points is 79%, which is less than the recommended 80%.

Try to take photos of the calibration grid so that marked points fill as much of the photo frame as possible. Also move the grid around the frame so overall there is good coverage across all photos. This will result in a better calibration as more of the lens will be calibrated to account for variability throughout the lens.

Problems related to most recent processing (1)

One or more of the camera parameter deviations has a high correlation: ((Yp - Fw: 95.9%) (Fw - Yp: 95.9%)).

A very high correlation (esp. anything over 95%) between two camera parameters during calibration means that neither parameter will have solved well. The high correlation may be due to camera positioning or the type of lens. Try to rerun the calibration after disabling one of the correlating parameters (disable lens distortion parameters first) in the Calibration Options dialog. If this does not solve the problem try retaking the photographs.

Information from most recent processing

Last Processing Attempt: Tue Aug 02 10:39:12 2011

PhotoModeler Version: 6.2.2.596 - final, full

Status: successful

Processing Options

Orientation: off

Global Optimization: on

Calibration: on (full calibration)

Constraints: off

Total Error

Number of Processing Iterations: 3

Number of Processing Stages: 2

First Error: 3.268

Last Error: 1.580

Precisions / Standard Deviations

Camera Calibration Standard Deviations

Camera1: DSC-HX5V [4.25]

Focal Length

Value: 4.193117 mm

Deviation: Focal: 0.002 mm

Xp - principal point x

Value: 2.959663 mm

Deviation: Xp: 0.001 mm

Yp - principal point y

Value: 1.674018 mm

Deviation: Yp: 0.005 mm

Correlations over 95.0%: Fw:95.9%

Fw - format width

Value: 5.923681 mm

Deviation: Fw: 0.002 mm

Correlations over 95.0%: Yp:95.9%

Fh - format height

Value: 3.338975 mm

K1 - radial distortion 1

Value: -3.664e-004

Deviation: K1: 2.2e-005

K2 - radial distortion 2

Value: 3.027e-005

Deviation: K2: 2.9e-006

K3 - radial distortion 3
Value: 0.000e+000
P1 - decentering distortion 1
Value: -3.211e-005
Deviation: P1: 1.4e-005
P2 - decentering distortion 2
Value: -6.881e-005
Deviation: P2: 1.7e-005

Quality

Photographs

Total Number: 10
Bad Photos: 0
Weak Photos: 0
OK Photos: 10
Number Oriented: 10
Number with inverse camera flags set: 0

Cameras

Camera1: DSC-HX5V [4.25]
Calibration: yes
Number of photos using camera: 10
Average Photo Point Coverage: 79%

Photo Coverage

Number of referenced points outside of the Camera's calibrated coverage: 0

Point Marking Residuals

Overall RMS: 0.203 pixels
Maximum: 1.723 pixels
Point 8 on Photo 10
Minimum: 0.110 pixels
Point 102 on Photo 2
Maximum RMS: 0.704 pixels
Point 8
Minimum RMS: 0.062 pixels
Point 102

Point Tightness

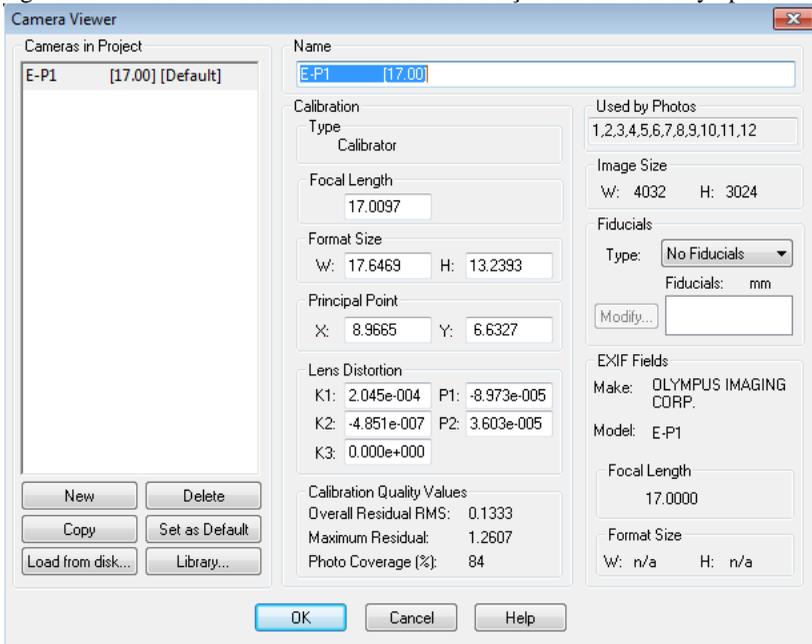
Maximum: 0.0013 m
Point 8
Minimum: 0.00015 m
Point 102

Point Precisions

Overall RMS Vector Length: 9.48e-005 m
 Maximum Vector Length: 0.000147 m
 Point 138
 Minimum Vector Length: 8.01e-005 m
 Point 11
 Maximum X: 8.04e-005 m
 Maximum Y: 7.72e-005 m
 Maximum Z: 0.000107 m
 Minimum X: 4.02e-005 m
 Minimum Y: 4.19e-005 m
 Minimum Z: 5.27e-005 m

A Figura 67 traz um resumo dos dados finais da calibração da câmera.

Figura 67 – Tela com os dados finais de calibração da câmera Olympus EP1

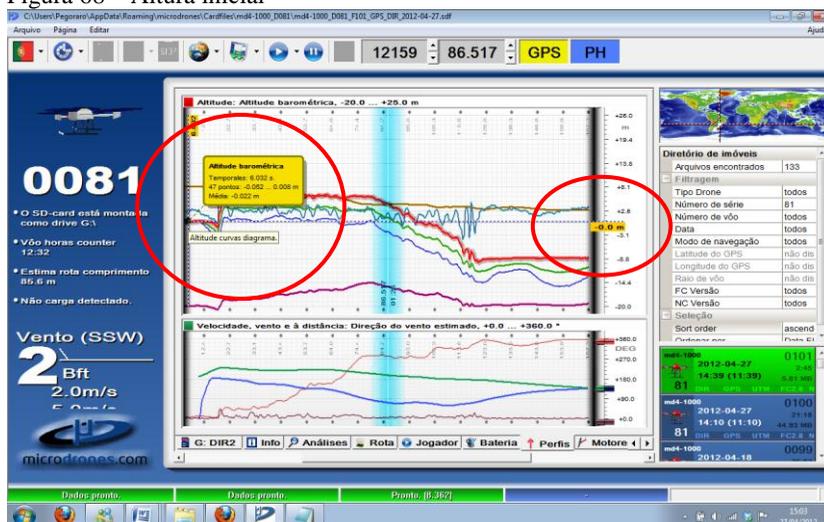


APÊNDICE B – ALTURA DE VOO, MODO DE REFERÊNCIA

Teste da altura de voo em um nível inferior o da decolagem

A Figura 68 apresenta o registro inicial de altura de voo da decolagem. Pode-se observar que o registro da decolagem está no 0,0m, isto é, toda a decolagem é referenciada a partir do solo. A linha de referência desse voo é a laranja e as linhas pontilhadas indicam o valor da altura de voo no ponto demarcado.

Figura 68 – Altura inicial



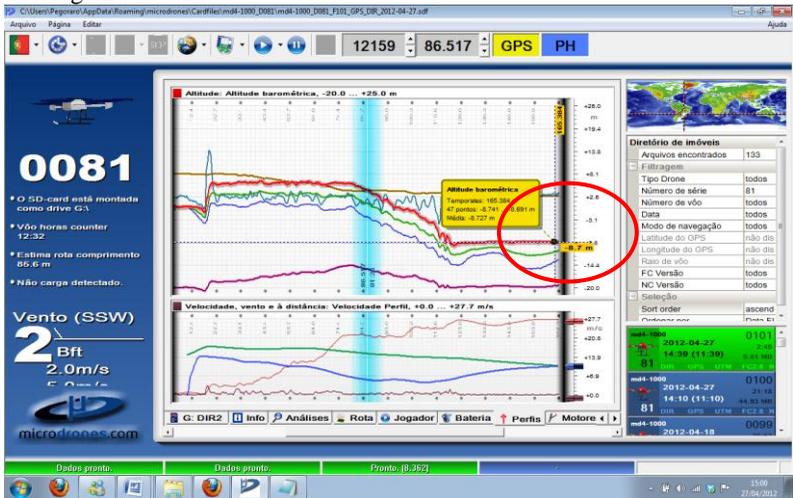
Conforme se pode verificar na Figura 69, após a decolagem, no tempo de 72 segundos, a altura barométrica foi de + 6,0 m.

Figura 69 – Altura aos 72 segundos da decolagem



A Figura 70 representa a área de pouso, que fica em um nível inferior ao da decolagem. O registro de altura barométrica é negativo (-8,7 m), isto é, tem-se uma altura negativa em relação à decolagem.

Figura 70 – Registro da altura do pouso a 8,7 m desnívelado em relação à decolagem



APÊNDICE C – TELAS DE GRAVAÇÃO DE DADOS

A Figura 71 mostra a tela *Route*, que permite a visualização da rota de voo em um ambiente tridimensional. Nesta tela, são visualizadas as coordenadas e a altitude GNSS, a precisão do GNSS (*Accuracy*) e o número de satélites disponíveis (*SV – Satellite Vehicle*), a distância, a altura e o ângulo *Yaw* do *drone*, para um determinado instante de tempo do voo.

Figura 71 – Voo #109 reproduzido no modo *player*



A Figura 72 apresenta os registros da rota quanto aos comandos do RC, qualidade do sinal e interrupções do RC. Na Figura 73 pode-se verificar o relatório gerado automaticamente para análise de parâmetros importantes e leituras dos sensores. Na Figura 74 os dados relativos a telemetria.

Figura 72– Registro da rota



Figura 73 - Relatório automático para análise de parâmetros importantes e leituras dos sensores

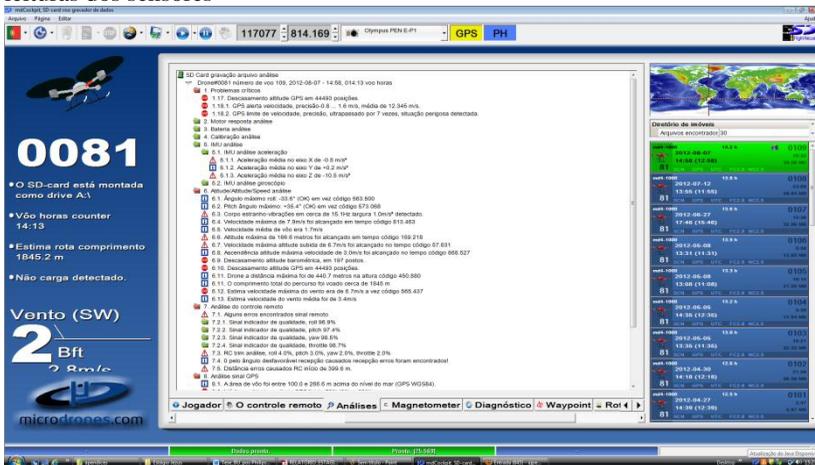


Figura 74 – Dados de telemetria



A Figura 75 apresenta os dados de atitudes do drone, sob os ângulos de *Roll*, *Pitch* e *Yaw*.

Figura 75 – Dados dos ângulos de atitude



Todas as figuras apresentadas neste apêndice são relativas aos registros de voo nas telas do *mdCockpit* e apresentam condições para

analisar os registros do comportamento do *drone* em frações do segundo, desta forma o voo pode ser recriado no modo virtual, permitindo realizar uma análise em qualquer momento do comportamento do *drone* durante toda execução do voo. As informações como tempo decorrido, altitude, velocidade, atitude, bússola, horizonte artificial, nível da carga da bateria, qualidade do sinal de rádio, rotações dos motores, velocidade e direção do vento e ângulos de atitude, também podem ser visualizadas em tempo real na estação base.

APÊNDICE D – LISTA DOS PARÂMETROS PARA AS IMAGENS OBTIDAS POR MEIO DO RELATÓRIO DE VOO DO DRONE

No cartão SD do *Drone*, são gravados os dados das imagens referentes às leituras dos sensores. Quando este arquivo é transferido para um computador, por meio do programa *mdCockpit*, permite visualizar informações sobre o voo.

A Figura 76 apresenta um exemplo de um relatório de atitude do voo #109 sobre o Colégio Politécnico da UFSM.

Figura 76 – Relatório de atitudes do voo #109

photo	GPS Time	Timecode	Latitude	Longitude	Altitude (GPS)	speed moving	direction	Height over terrain		yaw/camera direction	roll	pitch		
								Height	terrain					
001	14:58:20	14_243	-29,72065756	-53,71731102	+316,7	+1,4	-101,4	+19,6	+19,5	-4,7	-7,1	+151,8	+81,0	+0,0
002	14:58:30	24_642	-29,72069338	-53,71750039	+311,1	+0,8	-174,9	+86,0	+15,9	-2,6	-0,6	+150,7	+81,0	+0,0
003	14:58:45	39_596	-29,72065107	-53,71750339	+381,8	+1,1	+174,9	+84,6	+84,6	-0,9	-3,5	+152,1	+81,0	+0,0
004	14:59:00	96_888	-29,72080842	-53,71740732	+255,1	+0,2	+174,9	+157,9	+136,9	+4,1	-2,8	+150,1	+81,0	+0,0
005	14:59:38	112_600	-29,72125589	-53,71790239	+244,1	+0,5	+33,6	+136,9	+155,4	-0,8	-2,3	+148,7	+81,0	+0,0
006	15:00:20	134_781	-29,72248514	-53,71757576	+254,0	+0,5	-31,7	+156,8	+154,9	-1,0	-0,5	+149,4	+81,0	+0,0
007	15:00:31	165_612	-29,72177416	-53,71757886	+254,0	+0,4	+92,6	+156,9	+153,8	-6,4	-0,8	+146,1	+81,0	+0,0
008	15:01:10	185_183	-29,72248514	-53,71742181	+252,3	+0,8	+75,0	+156,3	+149,9	-1,0	-1,0	+147,9	+81,0	+0,0
009	15:01:36	210_720	-29,72226570	-53,71727375	+253,5	+0,4	+103,6	+156,3	+145,7	-5,0	-2,3	+146,4	+81,0	+0,0
010	15:01:53	227_884	-29,72248512	-53,71731704	+253,4	+0,9	+115,3	+156,2	+141,3	-7,8	-1,0	+149,9	+81,0	+0,0
011	15:02:15	249_297	-29,72271196	-53,71698493	+252,7	+0,6	+18,2	+155,5	+140,7	+2,8	-2,6	+146,2	+81,0	+0,0
012	15:02:22	319_505	-29,72324459	-53,71742442	+254,1	+0,9	+89,8	+156,9	+150,9	-4,2	-4,3	+144,3	+81,0	+0,0
013	15:03:18	332_300	-29,72348438	-53,71726900	+253,0	+0,5	+11,7	+155,8	+150,0	+1,2	+2,1	+144,7	+81,0	+0,0
014	15:03:17	351_884	-29,72317541	-53,71751474	+252,5	+0,7	-70,6	+156,3	+152,0	-1,1	-4,7	+147,7	+81,0	+0,0
015	15:04:22	376_459	-29,72372754	-53,71754563	+252,5	+0,1	-70,6	+155,3	+151,0	-6,9	-2,1	+150,5	+81,0	+0,0
016	15:04:34	388_612	-29,72396789	-53,71737383	+253,6	+1,3	-81,8	+156,4	+152,6	-10,6	-1,3	+148,0	+81,0	+0,0
017	15:04:46	400_498	-29,72413346	-53,71749621	+253,1	+0,6	-134,7	+156,2	+153,1	-5,7	-0,5	+148,9	+81,0	+0,0
018	15:04:59	413_761	-29,72423492	-53,71746710	+252,9	+0,2	+145,5	+155,8	+151,9	-6,1	-4,5	+150,6	+81,0	+0,0
019	15:05:12	447_113	-29,72399808	-53,71799408	+253,5	+0,2	+145,5	+156,3	+153,0	-2,0	-1,3	+148,8	+81,0	+0,0
020	15:05:47	461_497	-29,72416571	-53,71818733	+253,4	+0,6	+13,4	+156,3	+153,2	+1,4	-0,3	+146,8	+81,0	+0,0
021	15:06:00	474_873	-29,72394654	-53,71834370	+252,8	+0,5	+27,6	+156,0	+152,9	-0,7	-0,8	+148,8	+81,0	+0,0
022	15:06:22	496_671	-29,72375126	-53,71836887	+253,1	+0,1	+127,4	+156,6	+152,8	-1,0	-0,2	+145,5	+81,0	+0,0
023	15:06:25	510_151	-29,72366620	-53,71841370	+252,8	+0,8	-10,4	+156,6	+153,0	+2,6	-0,4	+145,5	+81,0	+0,0
024	15:06:49	523_747	-29,72342808	-53,71836585	+252,6	+0,5	-16,7	+155,5	+151,4	+4,1	-2,1	+148,8	+81,0	+0,0
025	15:07:08	542_996	-29,72319310	-53,71831813	+253,2	+0,4	-7,2	+156,1	+151,4	-0,8	-4,8	+147,9	+81,0	+0,0
026	15:07:34	568_303	-29,72317370	-53,71841129	+253,3	+0,2	-7,2	+156,1	+151,7	-1,0	+4,1	+147,8	+81,0	+0,0
027	15:07:50	584_798	-29,72329238	-53,71859379	+252,5	+0,8	+84,4	+156,3	+151,1	-1,5	-4,4	+147,2	+81,0	+0,0
028	15:08:07	601_132	-29,72278886	-53,71833144	+253,6	+0,2	+38,4	+156,4	+151,2	+1,8	+0,3	+142,5	+81,0	+0,0
029	15:08:24	618_630	-29,72253225	-53,71855091	+253,0	+0,2	+38,4	+155,9	+149,7	-2,0	+8,8	+143,0	+81,0	+0,0
030	15:08:44	636_188	-29,72217534	-53,71886786	+252,3	+0,5	-22,4	+156,1	+147,4	+1,3	-8,8	+142,7	+81,0	+0,0
031	15:08:46	640_750	-29,72216389	-53,71888960	+253,5	+0,2	-22,4	+156,3	+147,5	+1,7	-6,0	+144,9	+81,0	+0,0
032	15:09:01	656_028	-29,72197136	-53,71907135	+253,6	+0,2	-22,4	+156,4	+145,0	-0,8	-1,9	+143,7	+81,0	+0,0
033	15:09:13	669_236	-29,72178332	-53,71927157	+253,8	+0,4	-91,1	+156,7	+143,8	-3,8	-10,2	+150,8	+81,0	+0,0
034	15:09:33	687_189	-29,72181021	-53,71942775	+253,5	+0,1	-91,1	+156,3	+144,3	+0,7	-6,2	+144,9	+81,0	+0,0
035	15:09:48	703_198	-29,72143540	-53,71958819	+253,7	+0,8	-58,7	+156,5	+146,4	+3,5	-6,0	+142,9	+81,0	+0,0
036	15:10:03	717_073	-29,72121264	-53,71979078	+253,1	+0,5	-0,8	+155,9	+147,7	+4,9	-3,1	+142,1	+81,0	+0,0
037	15:10:20	734_527	-29,72104099	-53,71993160	+252,8	+0,3	-81,2	+155,6	+148,5	+1,1	+2,7	+144,1	+81,0	+0,0
038	15:10:23	737_181	-29,72105709	-53,71994135	+253,2	+0,5	-118,3	+156,0	+148,9	+0,0	-6,1	+144,3	+81,0	+0,0
039	15:10:36	751_216	-29,72080577	-53,71968475	+252,8	+0,8	-41,2	+156,6	+147,5	+3,3	-0,5	+141,3	+81,0	+0,0
040	15:11:00	774_132	-29,72058732	-53,71931312	+253,0	+0,4	-41,5	+156,4	+148,3	+1,4	+4,2	+138,6	+81,0	+0,0
041	15:11:20	873_120	-29,72061106	-53,71993444	+176,1	+0,2	-1,5	+79,1	+78,9	-1,5	-1,8	+143,4	+81,0	+0,0
042	15:12:15	889_370	-29,72061472	-53,71985132	+176,6	+0,1	-41,5	+79,3	+79,2	-0,1	-2,9	+142,0	+12,6	+0,0
043	15:13:02	896_591	-29,72061377	-53,71993133	+176,9	+0,1	-41,5	+79,7	+79,5	+0,5	-1,1	+174,7	+12,6	+0,0
044	15:13:10	964_421	-29,72059544	-53,71991499	+177,1	+0,1	-57,8	+80,1	+79,8	+0,0	-7,3	+167,4	+12,6	+0,0
045	15:13:16	910_965	-29,72062315	-53,71992101	+176,6	+0,4	-165,5	+79,5	+79,3	+2,5	+0,9	+145,0	+12,6	+0,0
046	15:13:29	923_300	-29,72061482	-53,71996236	+177,0	+0,8	-106,7	+79,9	+79,6	+0,0	+2,6	+137,7	+12,6	+0,0
047	15:13:35	939_777	-29,72063600	-53,71801884	+177,2	+0,6	-131,5	+80,1	+79,8	+6,0	+3,6	+86,8	+12,6	+0,0
048	15:13:42	916_330	-29,72063542	-53,71802082	+177,3	+0,4	-3,6	+80,1	+79,8	+0,7	+0,1	+46,7	+12,6	+0,0
049	15:13:48	947_974	-29,72063022	-53,71802082	+177,6	+0,7	+28,4	+80,4	+80,2	+1,8	-0,9	+12,3	+12,6	+0,0
050	15:13:54	948_933	-29,72062084	-53,71802087	+177,5	+0,5	+88,6	+80,4	+80,1	+6,1	-4,3	+12,2	+12,6	+0,0
051	15:14:00	954_830	-29,72061941	-53,71803481	+177,6	+0,4	+81,4	+79,9	+79,6	-1,7	-4,0	+41,2	+12,6	+0,0
052	15:14:05	959_734	-29,72061440	-53,71800658	+176,9	+0,4	+102,2	+79,7	+79,5	+0,1	-5,3	+83,3	+12,6	+0,0
053	15:14:10	964_445	-29,72061132	-53,71799537	+177,4	+0,2	+131,0	+80,3	+80,3	-0,6	-2,1	+112,9	+12,6	+0,0
054	15:14:17	971_305	-29,72061932	-53,71798790	+177,4	+0,2	+131,0	+80,3	+80,0	-0,1	-1,3	+139,5	+12,6	+0,0
055	15:15:03	1018_313	-29,72037662	-53,71765860	+129,0	+0,2	+131,0	+31,9	+31,6	+0,6	-1,5	+89,5	+12,6	+0,0
056	15:15:10	1024_763	-29,72037818	-53,71694788	+129,0	+0,2	+131,0	+31,9	+31,6	+0,8	-2,1	+105,5	+12,6	+0,0
057	15:15:30	1031_993	-29,72041424	-53,71754845	+129,0	+0,2	+131,0	+31,9	+31,6	+0,8	-2,1	+105,5	+12,6	+0,0
058	15:16:02	1066_266	-29,72041424	-53,71754804	+104,8	+0,5	+9,5	+27,6	+27,3	+1,3	-4,6	+106,6	+12,6	+0,0
059	15:16:14	1088_524	-29,72049091	-53,71754403	+104,8	+0,3	+44,3	+27,6	+27,3	+2,1	-2,0	+126,6	+12,6	+0,0

ANEXO A – PORTARIA NORMATIVA Nº 606/ MD

Ministério da Defesa
GABINETE DO MINISTRO
PORTARIA NORMATIVA Nº 606/ MD,
DE 11 DE JUNHO DE 2004

Dispõe sobre a Diretriz de Obtenção de Veículos Aéreos Não Tripulados e dá outras providências.

O MINISTRO DE ESTADO DA DEFESA, no uso das atribuições que lhe são conferidas pelo inciso I do parágrafo único do art. 87 da Constituição e pelos incisos IV e XI do art. 1 do Anexo I ao Decreto nº 4.735, de 11 de junho de 2003, resolve:

Art. 1º – Aprovar a Diretriz de Obtenção de Veículos Aéreos Não Tripulados – VANT.

Art. 2º – A presente Diretriz tem a finalidade de orientar o planejamento necessário para a obtenção de Veículos Aéreos Não Tripulados.

Art. 3º – A Diretriz de Obtenção de Veículos Aéreos Não Tripulados aplica-se a todos os Comandos Militares integrantes das Forças Armadas.

Art. 4º – Para os efeitos desta Portaria Normativa são utilizados os seguintes conceitos:

I – Veículo Aéreo Não Tripulado: é uma plataforma aérea de baixo custo operacional que pode ser operada por controle remoto ou executar perfis de voo de forma autônoma podendo ser utilizada para:

- a) transportar cargas úteis convencionais, como sensores diversos e equipamentos de comunicação;
- b) servir como alvo aéreo; e
- c) levar designador de alvo e cargas letais, sendo nesse caso empregado com fins bélicos;

II – Sistema de Ação e Monitoração por Veículo Aéreo Não Tripulado: é um meio de coleta e transmissão de dados baseado em VANT e possui diversas aplicações doutrinárias, tais como:

- a) Reconhecimento.
- b) Vigilância.
- c) Busca de Alvos.
- d) Inteligência.

e) Guerra Eletrônica. e

f) Comando e Controle.

Art. 5º – A definição dos objetivos da presente Diretriz obedece às seguintes premissas básicas:

I – as ações de desenvolvimento e de aquisições de VANT devem ser realizadas de forma coordenada pelas Forças Armadas;

II – a coordenação de esforços entre as Forças Singulares, as Indústrias de Defesa e os diversos segmentos do Governo e da sociedade, buscando a sinergia na obtenção de um produto VANT em um prazo reduzido e de baixo custo, deve ser fundamentada no princípio da "Responsabilidade Compartilhada";

III – a implantação das atividades, ações e programas derivados desta Diretriz deve estar coerente com os recursos humanos, materiais e laboratoriais atualmente existentes em cada uma das Forças;

IV – a cooperação entre as Forças, por meio de Termos de Cooperação e Planos de Trabalho, deve ser intensificada a fim de ampliar a relação de colaboração bilateral;

V – as definições dos requisitos e especificações do VANT devem adotar os princípios da simplicidade e da objetividade;

VI – a inserção progressiva de diferentes recursos tecnológicos deve ser procedida através da adoção de projetos modulares;

VII – as características de aplicação tecnológica dual, intrínsecas aos VANT, devem ser exploradas visando ampliar as opções de investimentos e financiamento;

VIII – a utilização de práticas compensatórias deve ser incentivada em todas as aquisições de VANT e de seus componentes;

IX – os mecanismos de coordenação e de articulação entre as Forças Singulares, as empresas e as entidades representativas do parque industrial de material de emprego militar, com especial atenção para as questões de natureza tecnológica, devem viabilizar o planejamento consensual das aquisições e desenvolvimentos de VANT e de seus componentes;

X – a atuação para a obtenção de VANT deve ser executada em consonância com a Comissão Militar da Indústria de Defesa CMID, a fim de manter o estímulo continuado à indústria de defesa, conscientizando, assessorando, fomentando seu desenvolvimento e abrindo a possibilidade de sua participação competitiva nas

oportunidades comerciais, industriais e tecnológicas decorrentes da implementação desta Diretriz; e

XI – a prática de Nacionalização deve ser utilizada para minimizar etapas de desenvolvimento e encurtar prazos, incrementando a progressiva independência do mercado externo.

Art. 6º – O objetivo da presente Diretriz é estabelecer orientações, devidamente priorizadas, a serem seguidas pelas Forças Singulares, para assegurar a eficiência do processo de obtenção de VANT, bem como sua transparência no âmbito das Forças Armadas.

Art. 7º – São objetivos estratégicos que permitem a implementação da Diretriz de Obtenção de Veículos Aéreos Não Tripulados:

I – estabelecer os objetivos de curto, médio e longo prazo referentes a VANT;

II – orientar as Forças nos seus planejamentos estratégicos;

III – estimular e intensificar cooperações e interações entre as Forças;

IV – definir as atribuições de cada órgão envolvido no processo de cada Força;

V – acompanhar a evolução do processo de obtenção;

VI – ampliar a oferta de informações e serviços entre as Forças para cada ação definida;

VII – elevar a capacitação industrial e tecnológica dos setores de interesse da área de defesa; e

VIII – criar condições para o aperfeiçoamento das indústrias de defesa, da base tecnológica e da atração de novos parceiros no desenvolvimento de projetos de aplicação dual.

Parágrafo único – Todos os desenvolvimentos envolvendo parcerias externas devem ser efetivados por meio de Termos de Cooperação ou Convênios, com Planos de Trabalho anexos.

Art. 8º – São objetivos de curto prazo da Diretriz de Obtenção de Veículos Aéreos Não Tripulados:

I – concluir as atividades de nacionalização já em andamento, sob responsabilidade do Centro de Apoio a Sistemas Operativos CASOP e do Instituto de Pesquisas da Marinha – IpqM;

II – iniciar o desenvolvimento de um VANT capaz de ser utilizado como alvo aéreo manobrável;

III – definir requisitos e selecionar uma plataforma aérea capaz de ser utilizada como VANT destinada a apoiar as atividades de Comando, Controle, Comunicação e Inteligência –C3I;

IV – iniciar a capacitação em integração de sensores e de equipamentos de comunicação, inclusive *data link*, em VANT; e

V – identificar as deficiências existentes na capacitação, nas áreas de guiagem e navegação de veículo autônomo, e iniciar os esforços para dotar as organizações envolvidas de uma capacitação técnica plena nesta área tecnológica, sob responsabilidade do Exército Brasileiro (EB), da Marinha do Brasil (MB), da Força Aérea Brasileira (FAB) e do Ministério da Defesa (MD).

Parágrafo único. Os objetivos de curto prazo relacionados neste artigo devem ser desenvolvidos em até trinta meses e, para atingi-los, devem ser realizadas as seguintes ações:

I – criar, por intermédio do MD, uma Comissão Permanente com participação das três Forças para identificar as necessidades, viabilizar e controlar a execução da presente Diretriz;

II – identificar, por intermédio do MD, as tecnologias de aplicação dual e os "spin-off" inerentes ao produto VANT, a fim de possibilitar a utilização de fontes diversificadas de recursos;

III – iniciar o desenvolvimento do protótipo de um sistema de pilotagem à distância, sob responsabilidade do EB/MB/FAB/ MD;

IV – estabelecer os requisitos e as especificações de um alvo aéreo de alto desempenho, sob responsabilidade do EB/MB/FAB/ MD;

V – estabelecer os requisitos e as especificações de um VANT de reconhecimento, de acordo com as necessidades de cada Força, sob responsabilidade do EB/MB/FAB/ MD;

VI – definir uma plataforma aérea destinada a realizar ponte de comunicações e reconhecimento, capaz de ser convertida em VANT, sob responsabilidade do EB/MB/FAB/ MD;

VII – estabelecer os requisitos e as especificações de um Sistema de Ação e Monitoração por Veículo Aéreo Não Tripulado, sob responsabilidade do EB/MB/FAB/*md*; e

VIII – finalizar, sob a responsabilidade do CASOP e da MB, a nacionalização do alvo aéreo "HARPIA" e desenvolver um sistema modular para controle e posicionamento do mesmo, sob responsabilidade do IpqM e da MB e, após o referido desenvolvimento, difundir as experiências adquiridas na construção de alvo teleguiado para as outras duas Forças.

Art. 9º – São objetivos de médio prazo da Diretriz de Obtenção de Veículos Aéreos Não Tripulados:

I – desenvolver protótipo e iniciar a produção, com envolvimento das Forças Singulares e das Indústrias, do alvo aéreo manobrável, com toda a logística associada;

II – estabelecer os requisitos e as especificações de um VANT com capacidade de Guerra Eletrônica, sob responsabilidade do EB/MB/FAB/MD;

III – estabelecer os requisitos e as especificações de um VANT com capacidade de Comando, Coordenação, Comunicação e Inteligência - C I, sob-responsabilidade do EB/MB/FAB/MD

IV – implementar a conversão da plataforma tripulada em um VANT com capacidade de realizar ponte de comunicações e reconhecimento; e

V – estabelecer os requisitos e as especificações de um VANT para emprego bélico, sob responsabilidade do EB/MB/FAB/MD

Parágrafo único. Os objetivos de médio prazo relacionados neste artigo devem ser desenvolvidos em um período de quatro anos após a conclusão dos objetivos de curto prazo, procurando obter um primeiro protótipo de VANT de alto desempenho a ser utilizado como alvo aéreo manobrável.

Art. 10º – São objetivos de longo prazo da Diretriz de Obtenção de Veículos Aéreos Não Tripulados:

I – desenvolver protótipo e iniciar a produção dos VANT com capacidades de Guerra Eletrônica e C I, com toda logística associada e envolvimento das Forças Singulares e Indústrias; e

II – desenvolver protótipo e iniciar a produção de um VANT com capacidade de emprego bélico, com toda logística associada e envolvimento das Forças Singulares e Indústrias.

Parágrafo único. Os objetivos de longo prazo relacionados neste artigo devem ser desenvolvidos em até seis anos após a conclusão dos objetivos de médio prazo, visando à obtenção de um VANT para emprego bélico.

Art. 11 – O Ministério da Defesa, por intermédio da Secretaria de Logística e Mobilização - SELOM, deve promover e coordenar a integração entre os Comandos das Forças Armadas, Órgãos Governamentais, entidades da iniciativa privada e seus congêneres no exterior, no que vier a facilitar e viabilizar os objetivos desta Diretriz.

Art. 12 – Cabe aos Comandos das Forças Armadas a responsabilidade pela implementação da presente Diretriz em suas respectivas áreas, mediante o estabelecimento de instruções setoriais.

Art. 13 – A SELOM deve instituir um sistema de gestão para acompanhar e avaliar as atividades, ações e programas derivados da presente Diretriz.

Art. 14 – A presente Diretriz deve ser revisada por iniciativa da SELOM ou dos Comandos Militares.

Art. 15 – Esta Portaria Normativa entra em vigor na data de sua publicação.

JOSÉ VIEGAS FILHO

