UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

BRUNO EDUARDO TEIXEIRA

**Utilização de veículo aéreo não tripulado de asa fixa no
monitoramento e coleta de imagem de animais e ambientes em
propriedades rurais**

Pirassununga

2016

BRUNO EDUARDO TEIXEIRA

**Utilização de veículo aéreo não tripulado de asa fixa no
monitoramento e coleta de imagem de animais e ambientes em
propriedades rurais**

VERSÃO CORRIGIDA

Dissertação apresentada à Faculdade
de Zootecnia e Engenharia de
Alimentos da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
mestre em Ciências

Área de concentração: Gestão e
Inovação da Indústria Animal

Orientador: Prof. Dr. Adriano Rogério
Bruno Tech

Pirassununga

2016

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

T266u Teixeira, Bruno Eduardo
Utilização de veículo aéreo não tripulado de asa
fixa no monitoramento e coleta de imagem de animais
e ambientes em propriedades rurais / Bruno Eduardo
Teixeira ; orientador Adriano Rogério Bruno Tech. --
Pirassununga, 2016.
80 f.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação
em Mestrado Profissional em Gestão e Inovação na
Indústria Animal) -- Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo.

1. Agricultura de Precisão. 2. Zootecnia de
Precisão. 3. Tecnologia de Informação. 4.
Sensoriamento Remoto. I. Tech, Adriano Rogério
Bruno, orient. II. Título.

BRUNO EDUARDO TEIXEIRA

**Utilização de veículo aéreo não tripulado de asa fixa no
monitoramento e coleta de imagem de animais e ambientes em
propriedades rurais**

Dissertação apresentada à Faculdade
de Zootecnia e Engenharia de
Alimentos da Universidade de São
Paulo, para a obtenção do Título de
Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Gestão e
Inovação da Indústria Animal

Data de aprovação: ____/____/____

Banca Examinadora:

Adriano Rogério Bruno Tech – Presidente da Banca Examinadora
Prof. Dr. FZEA - USP - Orientador

Ana Carolina de Souza Silva
Prof.^a Dra FZEA - USP

Guilherme Augusto Spiegel Gualazzi
Prof. Dr. AFA

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor de meu destino e meu guia. Dedico também ao meu pai Adair, à minha mãe Vera, à minha irmã e ao meu cunhado.

Agradeço à minha esposa, Danielle, que de forma especial e carinhosa me deu força e coragem, apoiando-me nos momentos de dificuldades.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Ao CNPq e a Universidade de São Paulo, a Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, seus funcionários pelo ambiente criativo e amigável.

Ao Professor Doutor Adriano Rogério Bruno Tech, pela orientação, apoio e confiança.

A minha esposa Danielle, registro minha mais absoluta gratidão. Obrigado pela paciência, pelo incentivo, pela força e principalmente pelo carinho. Valeu a pena toda distância, todo sofrimento, todas as renúncias... Valeu a pena esperar... Hoje estamos colhendo juntos os frutos do nosso empenho!

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Agradeço à minha mãe Vera, heroína, que me apoiou e incentivou nas horas difíceis de desânimo e cansaço.

Ao meu pai Adair, que, apesar de todas as dificuldades, fortaleceu-me e foi muito importante.

Obrigado à minha irmã e ao meu cunhado, que, nos momentos em que estive ausente devido ao tempo dedicado ao estudo superior, sempre fizeram entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação realizada no presente.

Meu agradecimento especial aos amigos Marcelo Souza, Antônio Menaldo e Simon Skarabone, companheiros de trabalho e irmãos na amizade. Obrigado por terem feito parte da minha formação; certamente essa parceria continuará presente em toda nossa vida.

Agradeço aos colegas do mestrado e aos meus professores por dividirem não apenas seu conhecimento técnico, mas também por partilharem afetividades e serem exemplos educacionais durante todo o meu processo de formação profissional. Obrigado pela dedicação e por me proporcionarem um aprendizado real. Apesar de não citar o nome de cada um, reforço meu eterno agradecimento a todos os mestres e doutores com os quais pude conviver e que me transmitiram inúmeras experiências e ensinamentos.

Finalmente, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, registro meu “muito obrigado”.

Procure ser um homem de valor, em vez de ser um homem de sucesso.
Albert Einsten

RESUMO

TEIXEIRA, Bruno Eduardo. **Utilização de veículo aéreo não tripulado de asa fixa no monitoramento e coleta de imagem de animais e ambientes em propriedades rurais**. 2016. 80 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2016.

Este trabalho tem por finalidade mostrar a aplicação e a utilização de um aeromodelo elétrico de asa fixa, também conhecido como veículo aéreo não tripulado (VANT), com controle manual ou automático, para coleta de dados e imagens em propriedades rurais, com a premissa de auxiliar os gestores no processo de gestão e tomada de decisão. A metodologia utilizada para a realização das coletas foi feita por meio de voos programados em dias e condições diferentes, para verificação e análise de desempenho do aeromodelo. Os resultados obtidos com os voos foram acima do esperado, gerando excelentes imagens e dados confiáveis. Sendo assim, pôde-se concluir que a utilização de VANTs, em coletas de dados e imagens em propriedades rurais foi satisfatória e auxiliou os gestores no processo de gerenciamento e rotacionamento de animais no pasto, uma vez que as imagens permitiram uma boa visualização e o aeromodelo desenvolvido cumpriu o seu objetivo com bom desempenho e agilidade.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão, Zootecnia de Precisão, Tecnologia de Informação, Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

TEIXEIRA, Bruno Eduardo. **The use of fixed-wing unmanned aerial vehicle in the monitoring and collecting of animals and environments images in rural properties**. 2016. 80 f. M.Sc. Dissertation – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2016.

This study aims to show the application and the use of a fixed-wing electric model aircraft, also known as unmanned aerial vehicle (UAV), with manual or automatic control, for collecting data and images in rural properties, with the premise of assisting managers in the management process and decision making. The methodology used to carry out the collection was made through scheduled flights on different days and conditions, for verification and performance analysis of the model aircraft. The results obtained with the flight were higher than expected, generating excellent images and reliable data. Thus, we can conclude that the use of UAV, in data and images collection in rural properties has been satisfactory and has assisted managers in the process of management and rotation of animals on pasture, since the images have allowed a preview of the terrain, with sharp images and the model aircraft has fulfilled its goal with a good performance and agility.

Keywords: Precision Agriculture, Precision Animal Science, Information Technology, Remote Sensing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Aeronave utilizada para pulverização	18
Figura 2 - AG-1.....	19
Figura 3 – MG-9	19
Figura 4 – Foto da Praia das Fontes no CE tirada utilizando pipa	24
Figura 5 – Protótipo de Dirigível – AURORA I.....	25
Figura 6 – RMAX.....	25
Figura 7 – Os VANTs Altair e Altus, respectivamente	26
Figura 8 - Pegasus e suas placas solares.....	26
Figura 9 – Capacidades Chaves dos VANTs	27
Figura 10 – Imagem obtida por VANT	28
Figura 11 – Imagens SAR	28
Figura 12 – Yamaha RMAX G1	32
Figura 13 – Componentes de um avião	35
Figura 14 – Características Asa.	35
Figura 15 – Ailerons	36
Figura 16 – Profundores.....	37
Figura 17 – Eixos	38
Figura 18 – Forças	39
Figura 19 – Força de Sustentação.	40
Figura 20 – Força peso	40
Figura 21 – Força de arrasto	41
Figura 22 – Força de tração	41
Figura 23 – Estabilidade Longitudinal.	42
Figura 24 – Estabilidade direcional	43
Figura 25 – Perfis	44

Figura 26 – Diferença de perfis	44
Figura 27 – elementos de um perfil.....	45
Figura 28 – Enflechamento	46
Figura 29 – Plataforma do Aeromodelo.....	49
Figura 30 – Linha de Sustentação da Asa	49
Figura 31 – Centro de Massa	50
Figura 32 – Bateria e Receptor	50
Figura 33 – Servo Motor.....	51
Figura 34 – Visualização Final	51
Figura 35 – Centro de Pressão	52
Figura 36 – Comportamento de velocidade	52
Figura 37 – Linhas de corrente.....	53
Figura 38 – Tela Inicial Software	53
Figura 39 – Tela para escolha do perfil da asa	54
Figura 41 – Isopor marcado com as características da asa	55
Figura 42 – Veículo Aéreo Não Tripulado	55
Figura 43 – Motor Turnigy	56
Figura 44 – Bateria Lipo 2.2	57
Figura 45 – Servo Motor.....	57
Figura 46 – ESC.....	58
Figura 47 – Câmera FULL HD.....	59
Figura 48 – <i>Arducopter</i>	59
Figura 49 – GPS.....	60
Figura 50 – Mini OSD.....	60
Figura 51 – Rádio Turnigy	61
Figura 52 – Mission Planner.....	62

Figura 53 – Área a ser plantada	68
Figura 54 – Imagem aérea da plantação.....	68
Figura 55 – Imagem do sobrevoo alto em busca de falhas na plantação	69
Figura 56 – Imagem do sobrevoo baixo sobre a falha na plantação	69
Figura 57 – Imagem do sobrevoo alto sobre o rebanho	70
Figura 58 – Imagem do sobrevoo baixo sobre o rebanho	70
Figura 59 – Imagem dos bovinos pastando.....	71
Figura 60 – Imagem dos bovinos pastando e análise do pasto.....	71
Figura 61 – Imagem do terreno sendo preparado	73
Figura 62 – Imagem do pasto.....	73
Figura 63 – Imagem dos bovinos pastando sobrevoo alto	74
Figura 64 – Imagem dos bovinos pastando visão geral	74
Figura 65 – Imagem dos bovinos pastando sobrevoo baixo	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos testes realizados com VANT.....	64
Tabela 2 – Resultados dos testes realizados com VANT.....	72

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Objetivos	16
1.1.1. Objetivos Gerais.....	16
1.1.2. Objetivos Específicos	16
1.2. Justificativa	16
2. REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1. Aviação na Agricultura.....	18
2.2. Veículo Aéreo Não Tripulado.....	20
2.3. Histórico dos VANTs	20
2.3.1. A história do VANT no mundo	20
2.3.2. A história do VANT no Brasil.....	22
2.4. Os Modelos de VANT	23
2.5. Veículo Aéreo Não Tripulado na Agricultura	29
3. PRINCÍPIOS DE NAVEGAÇÃO	34
3.1. Aeronave	34
3.1.1. Asa	35
3.1.2. Fuselagem.....	36
3.1.3. Motor	36
3.1.4. Ailerons.....	36
3.1.5. Profundores	37
3.2. Eixos da Aeronave	37
3.2.1. Eixo longitudinal.....	37
3.2.2. Eixo lateral.....	38
3.2.3. Eixo vertical	38
3.3. Forças de Atuação na Aeronave	38
3.3.1. Sustentação.....	39
3.3.2. Peso	40

3.3.3. Arrasto	40
3.3.4. Tração	41
3.4. Estabilidade da Aeronave	42
3.4.1. Estabilidade longitudinal	42
3.4.2. Estabilidade direcional	42
3.5. Asa Voadora	43
4. MATERIAL E MÉTODOS	47
4.1. Metodologia	47
4.2. Materiais	48
4.2.1. Aeromodelo	48
4.2.2. Motor	55
4.2.3. Bateria	56
4.2.4. Servo Motor	57
4.2.5. ESC	58
4.2.6. Câmera FULL HD	58
4.2.7. <i>Arducopter</i>	59
4.2.8. <i>Global Positioning System</i> - GPS	60
4.2.9. Mini OSD	60
4.2.10. Rádio Controle	61
4.2.11. Mission Planner	61
4.3. Teste do Aeromodelo	62
4.4. Áreas de monitoramento	64
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	66
6. CONCLUSÃO	76
REFERÊNCIAS	78

1. INTRODUÇÃO

O auxílio de várias técnicas aplicadas no campo e o apoio de programas de pesquisa e desenvolvimento, mecanização e novas técnicas de plantio, como, por exemplo, a agricultura de precisão (AP), fazem com que o Brasil ocupe um lugar de destaque no mundo do agronegócio, conforme citado por Anselmi (2012).

A grande inovação que o agronegócio vem apresentando neste momento passa pelo desenvolvimento e difusão de novas tecnologias, que são de extrema importância para o aumento da produção e melhorias na produtividade (OECD, 1997; ANSELMÍ, 2012, p. 15).

Toda tecnologia que vem sendo aplicada recentemente no Brasil, mais especificamente na agricultura de precisão, tem grande destaque no mercado Europeu e Norte Americano. Pode-se citar: o Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS); o mapa de colheita ou de produtividade (MPC); a amostra de solo georreferenciada (ASG); a barra de luz (BLZ) utilizada para o direcionamento de máquinas; o piloto automático (PAT); e o sensoriamento remoto (SER), que remete à obtenção de informações sem o contato direto com o objeto monitorado ou estudado. Todas essas tecnologias têm como objetivo a melhora no rendimento do cultivo, bem como a redução das perdas (ANSELMÍ, 2012, p. 15).

Com a evolução da sociedade em conformidade com a tecnologia, o acesso a informações, que anteriormente eram pouco acessíveis e de difícil obtenção, hoje está disponível a muitas pessoas.

Entre os métodos de obtenção de informações, pode-se citar as tecnologias de georreferenciamento, que se tornaram comuns e de extrema importância para a tomada de decisões, que vão desde a melhor solução para a destinação de verbas até a escolha de um trajeto mais viável.

Dessa forma, emergiu a necessidade, para o mercado e para os personagens envolvidos nesse contexto, de sempre buscarem alternativas que visem à melhora da qualidade da informação oferecida. Desse entrave, surgiram, e vêm surgindo a cada dia, novas tecnologias, que colaboram para a otimização do resultado final — como pode ser percebido pela grande aplicabilidade e utilização que os VANTs vêm proporcionando à agricultura e à zootecnia nesses últimos anos (FERREIRA et al., 2013).

A obtenção de fotos aéreas pode ser aplicada para uma vasta gama de finalidades e tal obtenção de imagens evoluiu com o passar dos anos. A utilização de VANTs compõe uma das evoluções, já que esses dispositivos são capazes de realizar a obtenção de fotos para serem utilizadas no mapeamento de áreas a custos bem menores do que os convencionais (FAVARIN et al., 2013).

Assim, na busca de novas alternativas para levar tecnologia ao campo, o presente trabalho tem como principal finalidade apresentar uma alternativa de monitoramento das atividades realizadas no meio rural, com a utilização dos veículos aéreos não tripulados (VANT) para as atividades de monitoramento de animais, pastos e de áreas produtivas, como plantações e construções.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivos Gerais

Este projeto de pesquisa tem como principal objetivo mostrar a viabilidade do uso de um veículo aéreo não tripulado de asa fixa, com a finalidade de monitorar uma propriedade rural, animais e áreas de plantio, permitindo auxiliar os gestores nas tomadas de decisões.

1.1.2. Objetivos Específicos

A partir dos objetivos gerais propostos por este projeto de pesquisa, definiram-se os objetivos específicos:

- confeccionar um VANT de custo acessível, com a utilização de materiais simples e baratos;
- integrar câmeras, sensores e leitores de dados para a coleta de dados e imagens dos ambientes e animais;
- compatibilizar um sistema autônomo de voo, para que o aeromodelo possa receber programação remota.

1.2. Justificativa

A atual necessidade de modernização em todos os ramos da sociedade faz com que a busca por novas alternativas seja cada dia mais necessária para o desenvolvimento de um modo geral.

Alguns estudos revelam o grande crescimento da população mundial, e, com isso, surge a necessidade de uma maior produção de alimentos para suprir essa demanda. O desenvolvimento tecnológico, então, torna-se um grande aliado para atender às crescentes demandas, provenientes da necessidade de alimentação, dentre outras. Além disso, outros aspectos da produção agrícola veem como benéfica a implantação da tecnologia, uma vez que alguns de seus recursos visam a promover alternativas que garantem o uso adequado da água, a redução da emissão de gases responsáveis por provocarem fenômenos como o efeito estufa e, dessa forma, colaboram com a saúde humana (ANSELM, 2012, p. 18).

A principal justificativa que embasa a escolha do tema deste projeto de pesquisa é a constante ascensão da tecnologia na sociedade atual como forma de inovar e facilitar as práticas no campo e na cidade.

No mundo atual, a tecnologia tem se apresentado como o principal fator de progresso e de desenvolvimento. No paradigma vigente, ela é assumida como um bem social e, juntamente com a ciência, é o meio para a agregação de valores aos mais diversos produtos, tornando-se chave para a competitividade estratégica e para o desenvolvimento social e econômico de uma região (SILVEIRA; BAZO, 2005, p. 1).

A dimensão da tecnologia vem sendo potencializada cada vez mais, incentivando a criação em larga escala de objetos que possam facilitar tarefas que antes eram muito onerosas ou difíceis de realizar.

A partir de materiais comuns a um custo muito acessível em relação às tecnologias disponíveis atualmente no mercado, é viável planejar e desenvolver um veículo aéreo não tripulado remotamente controlado, utilizando a tecnologia de um sistema embarcado na plataforma VANT de um aeromodelo elétrico, utilizando-se tecnologia de baixo custo.

Pelo fato de o Brasil apresentar-se como um dos mais importantes países dentro do ramo do agronegócio — sendo um dos maiores produtores agrícolas em relação ao restante do mundo, devido ao seu vasto território e disponibilidade de recursos humanos e naturais — torna-se pertinente o estudo da implantação de tecnologias no agronegócio.

A finalidade deste projeto é facilitar a realidade do homem do campo no século XXI por meio da inovação tecnológica a partir do uso eficaz dos materiais a sua disposição e a consolidação de uma ideia pautada no aprimoramento de outros experimentos que já vêm apresentando bons resultados no campo da agricultura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, será apresentada uma breve revisão bibliográfica sobre a história da utilização da aviação na agricultura, dos veículos aéreos não tripulados (VANTs) e a aplicação desses na agricultura e zootecnia de precisão, objetivando um melhor entendimento da tecnologia utilizada e de suas limitações.

2.1. Aviação na Agricultura

O agente florestal alemão Alfred Zimmermann foi o inventor da aviação agrícola no ano de 1911, mas essa só foi utilizada comercialmente nos EUA em 1921, para uma ação de pulverização, sendo que o inseticida era jogado de um saco por um segundo tripulante (COUTO, [s.d.]).

Na Figura 1, pode ser observada a aplicação do sistema citado acima referente à aplicação da pulverização.

Figura 1 - Aeronave utilizada para pulverização

Fonte: RASI, J. R. **Desenvolvimento de um Veículo Aéreo Não Tripulado para aplicação em pulverização agrícola**. 2008. 70 f. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008. p. 22.

Já o primeiro avião desenvolvido especificamente para a utilização agrícola é conhecido como AG-1, construído em 1950 nos Estados Unidos, conforme se vê ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - AG-1

Fonte: RASI, J. R. **Desenvolvimento de um Veículo Aéreo Não Tripulado para aplicação em pulverização agrícola.** 2008. 70 f. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008. p. 22.

No Brasil, o primeiro voo só aconteceu no dia 19 de agosto de 1947, na cidade de Pelotas, no Rio Grande do Sul, devido a uma praga de gafanhotos. O avião utilizado para essa atividade foi o Muniz M-9, como se pode observar na Figura 3.

Figura 3 – MG-9

Fonte: RASI, J. R. **Desenvolvimento de um Veículo Aéreo Não Tripulado para aplicação em pulverização agrícola.** 2008. 70 f. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008. p. 23.

Como se pôde observar nas atividades citadas, a importância da utilização de aviões no agronegócio é inquestionável.

No ano de 1978, a Comissão de Agricultura do Congresso dos Estados Unidos da América considerou a aviação agrícola como a tecnologia mais importante para o aumento, a curto prazo, da produtividade agrícola daquele país e surgiu investimentos do governo federal com finalidade de aprimorar a atividade (COUTO, [s.d.]).

Foi assim que se iniciaram os primeiros voos agrícolas no Brasil e no mundo. Atualmente, entretanto, cada vez mais esse tipo de aviação vem se aprimorando e tornando-se mais moderna, como, por exemplo, com a utilização de pequenos aviões, que podem agir de maneira autônoma para executar muitas atividades na área da agricultura. Esses pequenos aviões são chamados de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) ou também de Veículos Aéreos Remotamente Pilotados (ARP).

No próximo subitem, poder-se-á entender melhor a definição de VANT.

2.2. Veículo Aéreo Não Tripulado

Segundo a Associação Brasileira de Aeromodelismo (ABA), a definição de VANT é: “um veículo capaz de voar na atmosfera, fora do efeito de solo, que foi planejado ou modificado para não receber um piloto humano e que é operado por controle remoto ou autônomo” (ABA, 2005 apud RASI, 2008, p. 25).¹

“Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) são pequenas aeronaves, sem qualquer tipo de contato físico direto, capazes de executar diversas tarefas, tais como monitoramento, reconhecimento tático, vigilância e mapeamento, entre outras” (MEDEIROS, 2007, p. 18).

A utilização desses aparelhos na agricultura e zootecnia de precisão vem crescendo com o passar dos anos.

2.3. Histórico dos VANTs

Este subitem tem como pressuposto básico discorrer sobre um breve histórico dos Veículos Aéreos Não Tripulados no mundo, desde seus princípios até a modernidade e o avanço durante os séculos. Na sequência, articularemos sobre a história do VANT no Brasil.

2.3.1. A história do VANT no mundo

A história dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) é bem antiga e teve início com um brasileiro. Foi o padre Bartolomeu Lourenço de Gusmão que projetou e construiu um balão de ar quente e o demonstrou em 1709 em Lisboa, Portugal,

¹ Associação Brasileira de Aeromodelismo. **Estatuto da Confederação Brasileira de Aeromodelismo**. São Paulo. Disponível em: <<http://www.aba-br.org.br>> Acesso em: 02 jun. 2005.

sobre a presença do Rei João Quinto e toda corte real, segundo Brandão (2007 apud LOGHITANO, 2010, p.8).²

Conforme, Loghitano (2010, p.8) a primeira fotografia aérea foi obtida depois de um século, no ano de 1858, com o francês Gaspard Felix Tournachon, que patentearia o que se conhece hoje como Aerolevantamento ou Aerofotogrametria e posteriormente com o advento dos Satélites, o que hoje se denomina Sensoriamento Remoto.

Relatos de meados do mês de agosto do ano de 1849 mostram que austríacos teriam enviado cerca de 200 balões não tripulados carregados de bombas temporizadas à cidade de Veneza, na Itália, região que era dominada na época pela Áustria — fato tido como uma das primeiras intervenções militares da história utilizando VANTs (ALVES NETO, 2008, p.4).

Segundo Puscov (2002 apud MEDEIROS, 2007, p. 19), Arthur Batat acoplou uma câmera fotográfica a uma pipa em 20 de junho de 1888, na França, realizando o primeiro voo aerofotografado registrado.³

Já o primeiro VANT rádio controlado foi desenvolvido em 1935 por Reginald Denny, que projetou e testou o *Remote Piloted Vehicle* (RPV ou PR-1); a partir de então, iniciou-se o seu aperfeiçoamento e deu-se origem aos protótipos RP-2, RP-3 e ao mais completo deles, o RP-4 (MEDEIROS, 2007, p. 19).

Com todas essas melhorias alcançadas com os RPVs, os Estados Unidos da América (EUA) encomendaram 53 unidades desses VANTs e os renomearam em 1939, com a designação OQ-1 (LOGHITANO, 2010, p.11).

A partir do OQ-1, foram feitos diversos aprimoramentos, até o RP-15 (OQ - 6A) de 1945. Este projeto tratou-se de um marco e a partir da década de 1950 foram destinados mais recursos para o desenvolvimento de VANTs pelo governo dos EUA (LOGHITANO, 2010, p.11).

Conforme Silveira (2005), a Guerra do Líbano, em 1982, é considerada o marco histórico na utilização de VANTs, quando Israel conseguiu destruir 17 das 16 baterias antiaéreas Sírias, depois de um VANT fazer um reconhecimento do local.

² BRANDÃO, Maurício Pazini et al. **UAV activities in Brazil**. First Latin-American UAV Conference. Panama, 2007.

³ PUSCOV, J. **Fligh system implementation in UAV**. Examensarbete utfört vid fysikinstitutionen, KTH, SCFAB. Somaren-Hösten, 2002. 51f.

Com todo esse desenvolvimento em relação aos VANTs, o momento mais importante para a utilização deles só ocorreu em meados do ano 2000.

O crescimento do emprego militar dos VANTs teve um pico após os atentados de 11 de setembro de 2001, quando os Estados Unidos mais do que duplicaram o orçamento destinado aos projetos de aeronaves não tripuladas (MEDEIROS, 2007, p. 21).

Entretanto, a aplicação real de um veículo aéreo não tripulado numa atividade militar real, só veio a ocorrer na Guerra do Afeganistão.

Em 2002, ficou conhecido o Veículo Aéreo Não Tripulado americano, *Predator*, que foi utilizado durante a guerra do Afeganistão. Esse foi considerado o primeiro emprego real de um veículo aéreo não tripulado com lançamento de míssil (MEDEIROS, 2007, p. 21).

Dessa maneira, pode-se observar o crescimento da utilização dos veículos aéreos não tripulados e como sua utilização foi modificando-se e aprimorando-se ao longo dos anos.

2.3.2. A história do VANT no Brasil

Já no Brasil, o histórico dos VANTs é recente e os primeiros relatos só ocorreram na década de 80, quando o Centro Técnico Aeroespacial (CTA), desenvolveu o projeto Acauã (MEDEIROS, 2007, p. 21).

As pesquisas nessa área, no Brasil, ainda são muito recentes e os principais trabalhos com Veículos Aéreos Não Tripulados têm como escopo as aplicações civis, como vigilância policial de áreas urbanas e de fronteira, inspeções de linhas de transmissão de energia, monitoramento, atividades áreas agrícolas, acompanhamento de safra, controle de pragas e de queimadas (MEDEIROS, 2007, p. 21).

De acordo com Silva et al. (2014), na década de 2000, mais especificamente no ano de 2005, por meio de uma parceria entre a Universidade de São Paulo, representada pelo Instituto de Ciências Matemáticas e Computação (ICMC – USP), com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), surge o projeto Arara (Aeronave de Reconhecimento Autônoma e Remotamente Assistida), um projeto totalmente brasileiro para atuar na agricultura de precisão.

Embora seja recente a história de pesquisa e utilização dos Veículos Aéreos Não Tripulados no Brasil, sua aplicação pode ocorrer em diversas áreas, sendo que seu custo é considerado relativamente baixo. Conforme Fontanari (2011, p. 13), “o

custo da utilização de um VANT para aplicações como estas é relativamente baixo, quando comparado à utilização de aeronaves tripuladas”.

Dessa forma, pode-se constatar como a utilização dos VANTs é importante para a redução dos custos, ajudando no trabalho dos gestores, seja em grandes ou em pequenas empresas, e, no caso deste estudo, especificamente de gestores da indústria animal.

2.4. Os Modelos de VANT

Existe no mercado uma grande variedade de Veículos Aéreos Não Tripulados, que foram e, ainda hoje, são utilizados.

O avanço da tecnologia trouxe a modernidade desse tipo de sistema para a utilização em diversas áreas de aplicação.

Segundo estudos de Longhitano (2010), a diferenciação dos VANTs começa no tipo de plataformas que podem ser utilizadas, as quais vão desde pipas, passando por dirigíveis, e chegando ao mais tradicional, que são os helicópteros e aviões.

Saber qual é o melhor equipamento a ser utilizado depende muito da finalidade da aplicação à qual será destinado o VANT, pois cada modelo possui uma aplicabilidade específica, variando, portanto, em relação a uma determinada aplicação.

A escolha pela utilização de determinado veículo depende principalmente da aplicação a que se destina. Aviões, por exemplo, atingem maior velocidade e têm maior autonomia de voo quando comparados à helicópteros. Tais características são convenientes quando há necessidade de se percorrer grandes áreas, transportar e despejar cargas. Já os dirigíveis são capazes de voar a baixas altitudes, baixas velocidades, pairar no ar e permanecer em vôo por longos períodos de tempo. Além disso, geram baixo ruído e vibração, e podem ainda pousar e decolar verticalmente eliminando a necessidade de pistas ou áreas específicas para decolagem. Por outro lado, são veículos lentos, com elevada relação tamanho/carga útil e bastante suscetíveis a perturbações como ventos, restringindo sua utilização a ambientes fechados ou em condições de tempo favoráveis. Nesse sentido, helicópteros conseguem agregar certas características tanto de aviões quanto de dirigíveis, já que podem voar a baixas velocidades como também possuem razoável velocidade de cruzeiro. São aeronaves extremamente ágeis, capazes de movimentar-se

em seis graus de liberdade, pairar no ar, pousar e decolar verticalmente... (CASTILLO-EFFEN et al., 2007 apud MARTINS, 2008, p. 1-2).⁴

A plataforma mais básica e também a mais barata que pode ser aplicada é a pipa. De maneira geral, ela agrega poucos recursos, mas, para determinadas aplicações, é bem útil. A Figura 4 é uma foto obtida por uma pipa da empresa AutoRetrato, que comercializa esse tipo de serviço (LONGHITANO, 2010).

Figura 4 – Foto da Praia das Fontes no CE tirada utilizando pipa

Fonte: LONGHITANO, G. A. **VANTS para sensoriamento remoto**: Aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas. 2010. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. p. 23.

Uma aplicação que pode ser citada para exemplificar a utilização de dirigíveis é o projeto Aurora, do Centro de Pesquisas Renato Archer (CenPRA), localizado na cidade de Campinas, interior de São Paulo, que produz dirigíveis robóticos em parceria com várias instituições (LONGHITANO, 2010).

Segundo Galves et al. (2003), o protótipo de teste do projeto intitulado de AURORA I busca cumprir algumas missões, sendo elas de baixa complexidade, como pode ser observado na Figura 5.

⁴ CASTILLO-EFFEN, M. et al. **Control fundamentals os small/miniature helicopters - a survey**. In: VALAVANIS, Kimom P. (Ed.). *Advances in Unmanned Aerial Vehicles*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2007. p. 73–118.

Figura 5 – Protótipo de Dirigível – AURORA I

Fonte: GALVES, M, et al. **Infra-estrutura para o controle servo visual de um dirigível robótico. VI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente.** Bauru, 2003. p. 20. (adaptada).

Dentre os modelos de helicópteros utilizados como veículos aéreos não tripulados, o mais antigo deles é conhecido como RMAX, da empresa Yamaha, possuindo uma capacidade de transporte de carga de 30 kg, com alcance de 10 km e uma autonomia de voo de aproximadamente uma hora e meia. O RMAX pode ser visto na Figura 6 (LONGHITANO, 2010).

Figura 6 – RMAX. Fonte: NASA, 2006

Fonte: LONGHITANO, G. A. **VANTS para sensoriamento remoto:** Aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas. 2010. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. p. 24.

Levando em consideração os veículos aéreos não tripulados mais utilizados, têm-se os modelos com asas fixas, conforme se vê na Figura 7.

Os VANTS mais expressivos e que tiveram mais investimentos foram em forma de avião (asas fixas). Os VANTS *Altair* e *Altus* foram adaptados para aplicações civis a partir de projetos militares, sendo construídos pela *General Atomics Aeronautical Systems Incorporated* de San Diego - EUA com versões para aplicações civis do *Predator* (LONGHITANO, 2010, p. 25).

Figura 7 – Os VANTs Altair e Altus, respectivamente

Fonte: LONGHITANO, G. A. **VANTS para sensoriamento remoto**: Aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas. 2010. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. p. 25.

Outro tipo de VANT que se pode relatar, devido às características de construção, é o modelo conhecido como Pegasus, que pode ser visualizado na Figura 8. Tal modelo possui suas asas cobertas por placas solares, utilizando, assim, o sol como fonte de energia.

Segundo Longhitano (2010, p. 26), “o Pegasus é um dos mais interessantes VANTS para sensoriamento remoto, sendo desenvolvido pelo VITO – Flemish Institute for Technological Research”.

Figura 8 - Pegasus e suas placas solares

Fonte: LONGHITANO, G. A. **VANTS para sensoriamento remoto**: Aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas. 2010. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. p. 26.

Desde a tecnologia agregada até o tipo de propulsão a ser utilizada, passando pela plataforma que está sendo empregada para montar os veículos aéreos não tripulados, pode-se variar muito entre os diversos tipos de aeronaves. Dessa forma, esta variedade de equipamentos originou algumas classes de VANTS.

Outra maneira de classificar os VANTs é também pela forma como eles decolam e pousam.

Quanto à forma de decolagem (lançamento) e pouso (recuperação), há diferentes tecnologias. VANTs podem decolar de forma convencional, vertical para helimodelos, ou com corrida em local plano até velocidade suficiente em voo, para aviões. Outras maneiras são através de catapulta, lançamento manual e acoplamento em um carro ou outro veículo terrestre para impulso inicial (LONGHITANO, 2010, p. 28).

As funções que esses veículos são capazes de exercer podem se difundir em vários aspectos. As capacidades chaves para os VANTs podem ser melhor analisadas na Figura 9 (NASA, 2006; LONGHITANO, 2010).

Figura 9 – Capacidades Chaves dos VANTs

Fonte: LONGHITANO, G. A. **VANTS para sensoriamento remoto**: Aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas. 2010. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. p. 29.

Para o caso deste estudo, referente ao sensoriamento remoto de área agrícola, os sensores que serão utilizados são capacidades chaves extremamente importantes. Assim, como citado por Longhitano (2010, p.30), “no caso do uso para sensoriamento remoto da superfície terrestre, os sensores embarcados nas plataformas são, obviamente, equipamentos chaves nos sistemas VANTs”.

Nos últimos anos, diversas pesquisas têm sido realizadas envolvendo não apenas o desenvolvimento e aprimoramentos nas plataformas VANTs, nos

sensores embarcados e no sistema de transmissão de dados, mas também inovações e experimentações nos procedimentos e técnicas de processamento digital das imagens e dados obtidos pelos equipamentos, a fim de obter produtos de forma mais rápida e de melhor qualidade.(LONGHITANO, 2010, p. 30)

Pode-se observar a utilização desses sensores em Veículos Aéreos Não Tripulados, em alguns exemplos, conforme Figuras 10 e 11, onde se tem uma aplicação na agricultura ou zootecnia de precisão.

Figura 10 – Imagem obtida por VANT

Fonte: MEDEIROS, F. A. et al. **Utilização de um veículo aéreo não-tripulado em atividades de imageamento georeferenciado**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 38, n. 8, p.2375-2378, nov. 2008. p. 2377.

Figura 11 – Imagens SAR

Fonte: LONGHITANO, G. A. **VANTS para sensoriamento remoto: Aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. 2010. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. p. 32.

Observa-se, por meio da figura 11, uma das aplicações desses veículos, principalmente na área militar para monitoramento de determinadas regiões e para cumprir algumas missões.

2.5. Veículo Aéreo Não Tripulado na Agricultura

Nos últimos anos, a utilização desses veículos deixou de ocorrer apenas na área militar e passou a ser empregada no meio civil; mais recentemente também sua aplicação passou a se dar no meio rural, com diversas aplicações nesta área.

O avanço da tecnologia e a redução do tamanho de equipamentos eletrônicos, computacionais, e a melhoria no desenvolvimento de softwares vêm fazendo com que se aumente a procura e a utilização de veículos aéreos não tripulados por todo o mundo, de acordo com relatos de Jorge, Inamasu e Carmo (2011, p.399).

Isso pode ser observado em alguns estudos realizados, em que mais de 40 países apresentam relatos relacionados com VANTs, para os mais diversos mercados. Dentre esses vários países, os Estados Unidos da América (EUA) lideram nos mais diversos ramos, que vão desde os tamanhos variados até a sofisticação dos sistemas, sendo o foco principal a área militar. Já o Japão apresenta grande desenvolvimento na área agrícola, principalmente em termos de pulverização, em que se apresenta mais de 200 VANTs (SIMPSON, 2003; DE GARMO, 2004; JORGE, INAMASU; CARMO, 2011, p. 399).

A aplicação desses VANTs na agricultura de precisão despertou um grande interesse para a pesquisa, devido aos vários campos de aplicação em monitoramento do meio ambiente, atmosfera, rios, bem como a sua utilização para a obtenção de imagens (EISENBEISS, 2004, JORGE, INAMASU; CARMO, 2011, p. 399).

Tudo isso com o intuito de aumentar a eficiência na agricultura e visar à redução dos impactos ambientais, buscando impulsionar a inovação tecnológica, já que o agronegócio apresenta um grande potencial para isso — o que pode ser observado pela utilização do sensoriamento remoto e aplicação de VANTs (SILVA et al., 2014, p. 2).

Muitos aparelhos podem fazer parte dos equipamentos integrados aos VANTs, apresentando certas características especiais para determinadas aplicações, conforme Silva et al. (2014, p. 2):

O número de aplicações com VANTs cresce ainda mais quando lidamos com aeronaves equipadas com câmeras. A disponibilidade dessas imagens combinada com técnicas computacionais como algoritmos das áreas de

Visão Computacional e Reconhecimento de padrões, pode permitir avanços ainda maiores para a agricultura e outras áreas (SILVA et al., 2014, p. 2).

A agricultura é uma área que pode beneficiar-se bastante da utilização desses equipamentos, como se comprova em alguns estudos, em que a implantação dessa tecnologia traz benefícios tanto para o mercado consumidor como para os produtores.

Herwitz *et al* (2004) realizou um estudo junto à *Kauai Coffee Company* no Hawaí, utilizando VANTs para a coleta de imagens objetivando vigilância e apoio às decisões na plantação de café. Para os autores, existem vários aspectos de manejo da cultura que podem se beneficiar da observação aérea. O estudo demonstrou a capacidade de um VANT de sobrevoar a plantação, equipado com sistemas de imagem para monitorar uma região agrícola por um período de tempo prolongado, estando os VANTS a oferecer uma valiosa contribuição para futuro monitoramento de recursos agrícolas (SILVA et al., 2014, p. 2).

As imagens obtidas por meio da utilização de VANTs foram de extrema importância para analisar os focos de capim-colonião e sua cobertura no solo. Dessa forma, segundo estudos realizados, os VANTs desempenham determinadas tarefas típicas do meio rural com maior eficácia do que satélites e aviões convencionais utilizados na agricultura (HERWITZ et al., 2004; SILVA et al., 2014, p. 6).

Outros estudos também já foram realizados a fim de analisar o comportamento de veículos aéreos não tripulados em diversos campos da agricultura e zootecnia, conforme destaca Silva et al. (2014):

No ano de 2008, Apan et al (2010) realizou um estudo que investigou o uso de um veículo aéreo não tripulado (VANT) para uso em aplicações agrícolas. A área de estudo foi localizada em *Watts Bridge Memorial Airfield* no sudeste de Queensland, Australia. Para os autores, o uso de VANTs como ferramentas de sensoriamento remoto não é algo novo, pois já foram utilizados para fotografar pastagens, para busca e salvamento no deserto, para o monitoramento da maturação do café e entre outras coisas, para monitorar trigo (SILVA et al., 2014, p. 7).

Atualmente, os estudos com VANTs no Brasil vêm trazendo informações relevantes para a agricultura de precisão, como citado por Silva Neto (2013):

“(...) o monitoramento de safras a partir de imagens possibilita a aquisição de dados da área das lavouras, desde a fase do plantio até a fase da colheita. Tais informações são úteis para o manejo e monitoramento de safras, bem como na gestão e logística da produção. Com isso há um grande aumento na produtividade, diminuição de investimentos e consequentemente aumento dos lucros” (SILVA NETO, 2013).

Segundo relatos de Albuquerque (2013), a utilização dos VANTs na agricultura de precisão vem se tornando atualmente uma realidade, conforme se pode observar na citação do professor Rubens Duarte Coelho, do Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) na USP, em Piracicaba: “Com os drones, abrem-se novos horizontes para a Agricultura de Precisão nas áreas de produção agrícola no Brasil”.

Tal fato nos mostra a importância da aplicação desses sistemas nas plantações e no monitoramento de rebanhos no pasto. Segundo o próprio professor, pode-se observar como a aplicação dessas aeronaves traz vantagens tanto para a sociedade quanto para o produtor:

“A utilização de veículos aéreos não tripulados tem despertado atenção em diversos segmentos da sociedade. No caso do setor agrícola, especificamente, a grande vantagem é a precisão com que se pode detectar e monitorar grandes áreas quase que em tempo real. É uma realidade de sensoriamento remoto nunca antes imaginada, com alta definição e alta frequência de captura das imagens aéreas” (ALBUQUERQUE, 2013).

Assim sendo, pode-se observar a grande utilidade dos VANTs para o meio rural, como um equipamento favorável para a gestão e administração da indústria animal.

A expectativa é que os VANTs possam fornecer ferramentas de sensoriamento remoto que sejam eficientes para a agricultura de precisão, atuando nos objetivos de permitir o uso eficiente de recursos, proteger o ambiente e fornecer informações relacionadas a tratamentos de gestão (utilização de máquinas para aplicações orientadas, semeadura, fertilização e proteção fitossanitária) (HONKAVAARA et al, 2013 apud SILVA et. al., 2014, p.8).⁵

Como é sabido, a agricultura é a fundamental base da economia brasileira e tende a um futuro de tecnologias, havendo diversos projetos e estudos voltados para essa área. O que antigamente era feito somente por imagens de satélites, hoje, com a utilização dos VANTs, a agricultura ganhou uma excelente estratégia de auxílio às atividades básicas (SILVA NETO, 2013).

Segundo relatos de Özdemir (2005), devido à saída principalmente dos jovens do campo para a cidade, que ocorreu no Japão na última década, a *Yamaha Unmanned Company* começou a solucionar o problema relacionado à falta de

⁵ HONKAVAARA, E.; SAARI, H.; KAIVOSOJA, J.; PÖLÖNEN, I.; HAKALA, T.; LITKEY, P.; MÄKYNEN, J.; PESONEN, L. **Processing and Assessment of Spectrometric, Stereoscopic Imagery Collected Using a Lightweight UAV Spectral Camera for Precision Agriculture**. Remote Sens. 2013, 5, 5006-5039.

recursos humanos por meio do desenvolvimento de equipamentos sem piloto. No caso da Yamaha, recorreu-se a helicópteros para pulverização como o RMAX, sendo que o helicóptero apresentado na Figura 12 tem uma grande área de atuação, como controle de pragas do arroz, soja e trigo, contribuindo com os produtores japoneses.

Figura 12 – Yamaha RMAX G1

Fonte: RASI, J. R. **Desenvolvimento de um Veículo Aéreo Não Tripulado para aplicação em pulverização agrícola**. 2008. 70 f. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008. p. 30. (adaptado).

Pode-se observar uma larga utilização desse tipo de aeronave, uma vez que ela apresenta uma vasta gama de aplicações no meio rural.

Por meio desta revisão bibliográfica, é possível ressaltar a importância da tecnologia aplicada no agronegócio, em especial pela utilização de aeronaves e plataformas para veículos aéreos não tripulados.

Para o agronegócio, a utilização desses equipamentos apresenta-se com grande potencial de implantação, sendo seu estudo muito relevante, pois se destina a aumentar o desenvolvimento da agricultura pela implantação de inovações tecnológicas.

A nova agricultura, mais especificamente traduzida em agricultura de precisão, apresenta, com o passar do tempo, cada vez mais a necessidade da implantação e utilização dessas novas tecnologias, para melhora em sua produtividade.

A utilização de VANTs para a coleta de imagens nas quais, posteriormente, serão utilizadas técnicas de visão computacional para atingir objetivos diversos, como produtividade, possíveis focos de doenças ou pragas, são, nesse contexto, bons exemplos (SILVA et al., 2014, p. 2).

Conforme Silva et al. (2014, p. 2 a 3), a aquisição de imagens obtidas com o monitoramento é de extrema importância para a gestão da produção, nas fases de plantio até a colheita.

Assim sendo, a utilização de tecnologias inovadoras que provoquem uma melhoria na qualidade do produto agrícola final favorece e, conseqüentemente, estabelece um desenvolvimento econômico e social; com isso, tem-se a nova agricultura, que permite o aprimoramento da relação espaço/tempo da atividade do agronegócio, por meio da aquisição de informações direcionadas, que reduzem a incerteza, durante a tomada de decisão pelo gestor (ANSELM, 2012, p.18).

3. PRINCÍPIOS DE NAVEGAÇÃO

Para a melhor compreensão dos procedimentos de voo de qualquer aeronave, e especificamente no caso dos VANTs, é necessário entender sobre os princípios básicos de voo das aeronaves em geral. A assimilação do conceito da aerodinâmica e das teorias de voo faz-se importantes na melhor compreensão do tema.

Sendo assim, faz-se necessário saber que a aerodinâmica faz parte dos estudos da física, a qual analisa as características do movimento do ar e suas interações com os corpos, além de alguns princípios básicos como “decolagem”, “pouso” e “voo de cruzeiro” — nomes importantes para que possamos compreender o voo de uma aeronave (HOMA, 2011, p.1).

3.1. Aeronave

Para o desenvolvimento deste trabalho é importante saber o que possibilita o voo às aeronaves visto que o principal objetivo deste é o desenvolvimento de um aeromodelo que servirá como plataforma de apoio aos equipamentos que transformarão esse sistema em um veículo aéreo não tripulado.

Sendo assim, quando se observa um determinado avião, seja ele de tamanho real ou um aeromodelo, é possível inferir que este possui várias partes que são responsáveis para que o voo possa se concretizar.

De acordo com relatos de Homa (2011, p. 17), quanto às características aerodinâmicas, pode-se classificar uma aeronave em duas partes: superfícies aerodinâmicas e aerofólios.

As superfícies aerodinâmicas não trazem vantagens para as aeronaves em termos de força útil para o voo, mas produzem pequena resistência. Já os aerofólios apresentam vantagens para a aeronave, pois produzem forças úteis ao voo (Figura 13).

Figura 13 – Componentes de um avião

Fonte: SAMPAIO, R. P. **Sistema de controle de atitude embarcado para vôo autônomo de aviões em escala**. 2006. 186 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006. p. 37.

3.1.1. Asa

Segundo Sampaio (2006, p.37), a asa é o principal elemento que constitui um avião, pois é responsável pelas forças que tornam possível o voo, além de classificar o avião quanto ao número de asas que ele apresenta. O principal modelo de aeronave, pelo fato de ser o mais utilizado, é o monoplano, que possui apenas uma asa fixa a fuselagem. Vale destacar que ainda existe o biplano, com duas asas, e o triplano, com três asas. Além disso, é na asa que ocorre o armazenamento do combustível responsável pela alimentação do sistema.

Outras características importantes a saber sobre a asa são apresentadas na Figura 14.

Figura 14 – Características Asa.

Fonte: HOMA, J. **Aerodinâmica e Teoria de Voo: Noções Básicas**. 30. ed. São Paulo: Asa - Edições e Artes Gráficas Ltda, 2011. 125 p. p. 23.

3.1.2. Fuselagem

Conforme Sampaio (2006, p.37), a fuselagem é o elemento responsável por alojar os passageiros e as demais cargas, entre elas, os equipamentos necessários para o funcionamento de todo o sistema. As características específicas que cada fuselagem apresenta influenciam diretamente nas peculiaridades de cada aeronave, sendo que as de forma circular, elíptica, alargada e afilada apresentam menor resistência aerodinâmica.

3.1.3. Motor

Pertencente ao grupo conhecido como “moto propulsor”, ele é responsável por fornecer a tração necessária para movimentar o avião tanto no solo quanto no ar. Cada aeronave pode possuir um ou mais motores de tipos variados, podendo ser instalados de maneiras diferentes, sob ou sobre a asa e também na parte frontal ou traseira da fuselagem, de acordo com os estudos de Sampaio (2006, p.37).

3.1.4. Ailerons

São equipamentos necessários para que o avião possa realizar o movimento conhecido como “rolagem”, o qual ocorre no eixo longitudinal da aeronave, sendo a localização desses nas pontas das asas. Seu funcionamento ocorre de maneira conjunta em cada asa, mas com sentidos contrários, conforme apresentado nos relatos de Sampaio (2006, p.38). Podem-se observar os ailerons na Figura 15.

Figura 15 – Ailerons

Fonte: SAMPAIO, R. P. **Sistema de controle de atitude embarcado para voo autônomo de aviões em escala**. 2006. 186 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006. p. 38.

3.1.5. Profundores

São equipamentos necessários para que o avião possa realizar o movimento conhecido como “arfagem” — movimento que ocorre no eixo lateral da aeronave, localizando-se em sua parte posterior. Seu funcionamento é responsável pelo movimento de subida e descida da aeronave conforme apresentado nos apontamentos de Sampaio (2006, p.38). A Figura 16 mostra os profundores.

Figura 16 – Profundores

Fonte: SAMPAIO, R. P. **Sistema de controle de atitude embarcado para vôo autônomo de aviões em escala**. 2006. 186 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006. p. 38.

3.2. Eixos da Aeronave

São linhas imaginárias desenhadas em torno da aeronave e seus nomes são (ÁNGEL MUÑOZ, [2004?]):

3.2.1. Eixo longitudinal

É a linha imaginária traçada da parte frontal até a parte posterior da aeronave, sendo o movimento em torno desse eixo responsável por abaixar uma asa e levantar a outra, com uma característica conhecida como rolagem (*roll*) (SAMPAIO, 2006, p.40; ÁNGEL MUÑOZ, [2004?]).

3.2.2. Eixo lateral

É a linha imaginária traçada da ponta de uma asa a outra ponta de asa, sendo o movimento em torno desse eixo responsável por abaixar ou levantar o nariz, com uma característica conhecida como arfagem (*pitch*) (SAMPAIO, 2006, p.40; ÁNGEL MUÑOZ, [2004?]).

3.2.3. Eixo vertical

É a linha imaginária que passa pelo centro de gravidade da aeronave, sendo o movimento em torno desse eixo responsável por girar o nariz, com uma característica conhecida como guinada (*yaw*) (SAMPAIO, 2006, p.40; ÁNGEL MUÑOZ, [2004?]).

As características, citadas anteriormente, podem ser visualizadas na Figura 17:

Figura 17 – Eixos

Fonte: SAMPAIO, R. P. **Sistema de controle de atitude embarcado para voo autônomo de aviões em escala**. 2006. 186 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006. p. 41.

3.3. Forças de Atuação na Aeronave

Para que se possa compreender uma aeronave durante o voo, faz-se necessário analisar algumas questões relacionadas às possibilidades que colaboram para que esse voo aconteça. Entre essas possibilidades, estão as forças que atuam sobre a aeronave.

Sobre a aeronave atuam uma variedade de forças que serão apresentadas de maneira sucinta. O controle dessas forças para que o voo seja realizado com eficiência é de responsabilidade do piloto (SAMPAIO, 2006, p.40; ÁNGEL MUÑOZ, [2004?]). Tais forças são apresentadas na Figura 18.

Figura 18 – Forças

Fonte: SAMPAIO, R. P. **Sistema de controle de atitude embarcado para vôo autônomo de aviões em escala**. 2006. 186 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006. p. 42.

Conforme apresentado na Figura 18, as principais forças atuantes na aeronave são: força de sustentação, peso, tração e arrasto.

3.3.1. Sustentação

É a força que atua sobre as asas de baixo para cima e tem a função de manter a aeronave no ar. É representada pela letra L (*lift*) e tem direção perpendicular à do vento relativo (SAMPAIO, 2006, p.42; ÁNGEL MUÑOZ, [2004?]), conforme Figura 19, que apresenta a atuação da força de sustentação.

Figura 19 – Força de Sustentação. Fonte: SAMPAIO (2006)

Fonte: SAMPAIO, R. P. **Sistema de controle de atitude embarcado para voo autônomo de aviões em escala**. 2006. 186 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006. p. 42.

3.3.2. Peso

É a força que atua puxando a aeronave para baixo. Trata-se, na verdade, da própria ação da gravidade atuando. Essa força deve ser compensada pela força de sustentação, para que a aeronave possa realizar o voo (SAMPALIO, 2006, p.44; ÁNGEL MUÑOZ, [2004?]). A Figura 20 apresenta a atuação da força de sustentação.

Figura 20 – Força peso

Fonte: SAMPAIO, R. P. **Sistema de controle de atitude embarcado para voo autônomo de aviões em escala**. 2006. 186 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006. p. 44.

3.3.3. Arrasto

A força conhecida como “arrasto” apresenta sua direção oposta à trajetória realizada pela aeronave. Sendo assim, ela retarda o voo (SAMPALIO, 2006, p.44;

ÁNGEL MUÑOZ, [2004?]). A Figura 21 apresenta a atuação da força de sustentação.

Figura 21 – Força de arrasto

Fonte: SAMPAIO, R. P. **Sistema de controle de atitude embarcado para voo autônomo de aviões em escala**. 2006. 186 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006. p. 44.

3.3.4. Tração

Para que se possa movimentar a aeronave, seja em solo ou em voo, é necessário retirar o sistema da inércia, na qual ele se apresenta. Para tanto, existe a força de tração. O motor é responsável por gerar tal força, que é alcançada pela aceleração de uma massa de ar com uma velocidade maior que a da aeronave (SAMPAIO, 2006, p.44; ÁNGEL MUÑOZ, [2004?]). A Figura 22 mostra a atuação dessa força.

Figura 22 – Força de tração

Fonte: SAMPAIO, R. P. **Sistema de controle de atitude embarcado para voo autônomo de aviões em escala**. 2006. 186 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006. p. 45.

3.4. Estabilidade da Aeronave

Outro fator importante, em se tratando de um voo eficiente, é a estabilidade apresentada pela aeronave. Quando as forças que atuam sobre a aeronave se anulam, esse sistema se apresenta equilibrado.

3.4.1. Estabilidade longitudinal

A estabilidade longitudinal refere-se às forças atuantes no eixo longitudinal da aeronave, ou seja, é a estabilidade responsável para que o nariz da aeronave possa estar para cima ou para baixo (SAMPAIO, 2006, p.49; ÁNGEL MUÑOZ, [2004?]).

Essa característica é extremamente dependente da localização do centro de gravidade (CG) e do centro de aerodinâmico (CA) da aeronave. Para essa situação, podem-se ter três situações diferentes, conforme pode ser observado na Figura 23. Se o CG for igual a CA, tem-se um sistema neutro; já para um CG adiantado em relação ao CA, tem-se uma tendência da aeronave picar (nariz para baixo); e o último caso: um CG atrasado com relação ao CA e, com isso, ocorre a tendência de a aeronave cabrar (nariz para cima) (SAMPAIO, 2006, p.49; ÁNGEL MUÑOZ, [2004?]).

Figura 23 – Estabilidade Longitudinal.

Fonte: SAMPAIO, R. P. **Sistema de controle de atitude embarcado para voo autônomo de aviões em escala**. 2006. 186 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006. p. 50.

3.4.2. Estabilidade direcional

A estabilidade direcional refere-se às forças atuantes no eixo vertical da aeronave, ou seja, se a aeronave se mantém em voo reto e direcional, diz-se que

este se apresenta estável direcionalmente (SAMPAIO, 2006, p.51; ÁNGEL MUÑOZ, [2004?]). A estabilidade direcional pode ser observada na Figura 24.

Figura 24 – Estabilidade direcional

Fonte: SAMPAIO, R P. **Sistema de controle de atitude embarcado para voo autônomo de aviões em escala**. 2006. 186 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006. p. 51.

3.5. Asa Voadora

Como o objetivo do projeto foi desenvolver uma plataforma para um VANT, o conhecimento das informações apresentadas até o momento torna-se importante para uma melhor compreensão do projeto. A plataforma utilizada não é uma aeronave convencional, mas um tipo, em que se utilizam apenas as asas, por isso, o nome usual é “asa voadora” — ou também pode ser utilizado o termo ZAGI.

Por apresentar uma construção simples e robusta, normalmente esse tipo de aeromodelo é utilizado para competições de combate (MAGALHÃES, 2011, p.9).

A partir desse momento, o importante é saber qual a melhor opção de ZAGI a ser utilizada. Segundo relatos apresentados por Nogueira (2008, p. 2), existem alguns tipos de perfis utilizados para o desenvolvimento e construção das asas voadoras. Os mais tradicionais são ZAGI 10 e ZAGI 12, e alguns mais modernos, como os MH 45 e MH 60. Alguns preferem e defendem cada um deles como o melhor, mas, de uma maneira geral, os perfis mais grossos resultam em voos mais lentos e estáveis, já os perfis mais finos resultam em voos mais rápidos e ágeis, porém menos estáveis.

A diferença entre os tipos de perfis citados pode ser observada na figura 25.

Figura 25 – Perfis

Seguindo então apenas a linha de raciocínio da espessura dos perfis teríamos:

- Perfis MH são mais finos que os Zagi
- O ZAGI12 é mais grosso que o ZAGI10
- O MH60 é mais grosso que o MH45

Fonte: NOGUEIRA, R. **Manual básico para construção de ZAGIs**. 2008. Disponível em: <<http://www.spsafe.com.br/downloads/manualzagi.pdf>>. Acesso em: 22 mai. 2015. p.2.

Alguns relatos importantes sobre as características de perfis apresentadas por Homa (2011, p18 e 19) são com relação ao formato que o perfil pode apresentar, podendo ser simétrico e assimétrico. Simétrico é o perfil que apresenta características ideais para ser dividido em duas partes iguais. Assimétrico é o perfil que não apresenta características ideais para ser dividido em partes iguais. Essas situações podem ser observadas na Figura 26.

Figura 26 – Diferença de perfis

Fonte: HOMA, J. **Aerodinâmica e Teoria de Voo: Noções Básicas**. 30. ed. São Paulo: Asa - Edições e Artes Gráficas Ltda, 2011. 125 p. p. 55.

Alguns outros elementos apresentados por um perfil podem ser analisados na Figura 27.

Figura 27 – elementos de um perfil

Fonte: HOMA, J. **Aerodinâmica e Teoria de Voo**: Noções Básicas. 30. ed. São Paulo: Asa - Edições e Artes Gráficas Ltda, 2011. 125 p. p. 57.

Um outro ponto importante para a ser considerado na montagem do sistema é a posição de enflechamento das asas, visto que ela funciona como a cauda da aeronave convencional, sendo que seu enflechamento tem influência direta na estabilidade de voo da asa. Quanto menor o enflechamento, mais o voo se tornará crítico e quanto mais enflechada for a asa, mais o voo será estável (NOGUEIRA 2008, p.3). Este enflechamento pode ser observado na Figura 28.

Figura 28 – Enflechamento

Fonte: NOGUEIRA, R. **Manual básico para construção de ZAGIs**. 2008. Disponível em: <<http://www.spsafe.com.br/downloads/manualzagi.pdf>>. Acesso em: 22 mai. 2015. p.3.

Essas são algumas características importantes que devem ser levadas em consideração para o desenvolvimento de uma asa voadora, para que ela possa ter um voo estável.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Metodologia

Este capítulo apresenta os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento da plataforma que foi utilizada para a construção do veículo aéreo não tripulado, expondo as informações e técnicas que permitiram sua construção.

Como o objetivo a ser alcançado nessa pesquisa é a verificação da utilização de veículos aéreos não tripulados para o monitoramento de propriedades rurais, sendo o objetivo específico voltado para a observação de rebanhos e plantações dentro dessas aéreas, faz-se necessária a observação das tecnologias presentes atualmente no mercado, já que sua visão abrange as diversas áreas do conhecimento que serão aplicadas em conjunto para obtenção dos melhores resultados.

A partir dessa análise, pode-se identificar quais seriam os parâmetros necessários a serem utilizados no aeromodelo que serviram como plataforma para o VANT. Dentro desses parâmetros, faz-se necessária a observação da qualidade da captação das imagens e condições de voo do aeromodelo, pois essas serão utilizadas para a tomada de decisão.

Com todas essas informações coletadas e em condições para serem utilizadas, foi realizado o desenvolvimento da plataforma, a qual foi utilizada como VANT e teve testada em campo a sua aplicabilidade no monitoramento da propriedade rural, tanto no modo controlado remotamente, como no modo autônomo.

Para o teste da viabilidade de sua aplicação, foram analisados diversos voos em condições ambientais diferenciadas, testando, assim, sua capacidade técnica para determinadas situações.

Sendo assim, a metodologia do presente trabalho abordou a escolha do melhor aeromodelo, dentro dos diversos tipos existentes no mercado, a ser utilizado como plataforma do VANT, que foi desenvolvido para o monitoramento das propriedades rurais.

Após a escolha do aeromodelo ideal, foi realizado seu planejamento, projeto, produção, desenvolvimento e testes de aplicação em monitoramento tanto do tipo remotamente controlado como do tipo autônomo.

Nos subitens que seguem, serão citados os componentes principais que foram utilizados no desenvolvimento da plataforma e na constituição do veículo aéreo não tripulado.

4.2. Materiais

O VANT consiste em uma plataforma de um aeromodelo, trabalhando em conjunto com uma câmera de alta definição para a realização das filmagens e obtenção das imagens, um sistema de pouso e decolagem autônoma com segurança.

Os materiais utilizados estão descritos em detalhes nos subitens a seguir.

4.2.1. Aeromodelo

A partir de alguns testes feitos em campo com outros tipos de aeromodelos, optou-se pelo estudo baseado na utilização de um tipo de aeromodelo, conhecido como “asa voadora” ou zagi, que dentro das possibilidades de utilização apresenta algumas características particulares e de fácil utilização com relação à estabilização do voo, visto que, trabalhando apenas com o enflechamento da asa, pode-se ter um voo mais estabilizado ou mais crítico.

Os VANTs do tipo asa voadora, ou Zagi, e os planadores, pelas suas características de grande autonomia, facilidade de manuseio e velocidade de voo, dentre outras, são os mais indicados para uso em cenários de desastre. Em especial, as asas voadoras, por não necessitarem de pista para sua decolagem e aterrissagem, tornam-se extremamente versáteis e práticas para serem utilizadas nestes ambientes (ALBUQUERQUE; LUCENA; CAMPOS, 2014, p.6).

Para o desenvolvimento do aeromodelo do tipo “asa voadora”, foi utilizado isopor do tipo 1, vendido em placa de comprimento 1000 mm, largura de 500 mm por espessura de 50 mm, necessário para a constituição das asas e fuselagem, além de fibra de vidro e papel para revestimento do mesmo, juntamente com cola.

Definido o tipo de aeromodelo a ser utilizado para transportar os equipamentos e fazer os monitoramentos, foi utilizado um software para realizar o projeto e algumas simulações. O software utilizado foi o XFLR5, específico para realizar testes como esses.

O primeiro passo realizado no software foi a construção do projeto da asa, conforme pode ser observado na Figura 29.

Figura 29 – Plataforma do Aeromodelo

Fonte: Própria autoria.

A asa apresenta um comprimento total de 1400 mm de comprimento, sendo sua corda de fuselagem igual a 330 mm, já a asa apresenta uma corda inicial de 330 mm e uma corda final de 150 mm.

É possível também fazer uma análise da localização para a fixação da barra de fibra de carbono, necessária para ajudar na rigidez da asa e fuselagem, normalmente essa posição é escolhida em um ponto em que a asa sofrerá um maior esforço, conforme pode ser observado através da Figura 30.

Figura 30 – Linha de Sustentação da Asa

Fonte: Própria autoria.

Outra análise importante que foi realizada no software é a apresentação na posição do centro de gravidade (CG) da plataforma a ser utilizada para o veículo aéreo não tripulado, conforme se observa na Figura 31.

Figura 31 – Centro de Massa

Fonte: Própria autoria.

Analisaram-se outros fatores importantes, como a indicação da posição da bateria e do receptor, dentro da fuselagem, conforme pode ser visto na Figura 32.

Figura 32 – Bateria e Receptor

Fonte: Própria autoria.

Nas asas, o software fornece a indicação para a posição da instalação dos servos motores, de acordo com a Figura 33.

Figura 33 – Servo Motor

Fonte: Própria autoria.

Tratando ainda da parte referente ao desenvolvimento do protótipo, é possível fazer uma visualização de como ficará o projeto final, por meio da aplicação de superfícies sobre a fuselagem do sistema, como visto na Figura 34.

Figura 34 – Visualização Final

Fonte: Própria autoria.

De acordo com o passo a passo, até esse momento, foi utilizado o software para fazer uma montagem do sistema físico do projeto. A partir desta fase, será dado início ao processo de simulação do protótipo, fazendo pequenas análises do sistema.

Na Figura 35, é possível por meio de uma simples simulação verificar o centro de pressão, sofrido pela plataforma do VANT.

Figura 35 – Centro de Pressão

Fonte: Própria autoria.

Na Figura 36, é possível observar o comportamento da circulação da corrente de ar em quatro possíveis velocidades, que serão adotadas, durante os testes em voo.

Figura 36 – Comportamento de velocidade

Fonte: Própria autoria.

Outra análise interessante diz respeito às linhas de correntes, as quais podem demonstrar algum ponto de geração de vórtice na ponta das asas, que nada mais são do que o movimento giratório do ar, devido à diferença de pressão, e estas linhas podem ser visualizadas na Figura 37.

Figura 37 – Linhas de corrente

Fonte: Própria autoria.

Feitas essas análises no sistema e definido o tipo de asa a ser utilizada nessa pesquisa, deu-se início a utilização de outro software para a retirada do perfil para posterior montagem, o Profili 1.2. A Figura 38 mostra a tela principal do software utilizado.

Figura 38 – Tela Inicial Software

Fonte: Profili 1.2.

Na Figura 39, observa-se a tela na qual é feita a escolha, de acordo com o perfil de asa que será utilizada no aeromodelo e que servirá como plataforma para o veículo aéreo não tripulado.

Figura 39 – Tela para escolha do perfil da asa

Fonte: Profili 1.2.

Feita a escolha do perfil a ser utilizado, são geradas as imagens para que se possa gerar o negativo e dar início ao processo de montagem do aeromodelo pré-definido, conforme observado na Figura 40.

Figura 40 – Esboço do perfil da asa com menor corda

Fonte: Profili 1.2

Desenhados os perfis, passa-se ao próximo passo, referente ao desenvolvimento de uma superfície com as características dos perfis, para que seja utilizada como referência no corte do isopor, que irá constituir a asa.

Com a estrutura pronta, inicia-se a marcação do isopor, que será utilizado como as asas do aeromodelo.

Com isso, obtiveram-se as informações necessárias para finalizar o processo de desenvolvimento da construção das asas do aeromodelo, conforme as características definidas previamente. As asas prontas podem ser observadas na Figura 41.

Figura 41 – Isopor marcado com as características da asa

Fonte: Própria autoria.

Já com todos os materiais prontos, inicia-se a montagem do aeromodelo desejado, chegando assim à plataforma, que será utilizada como base para o VANT. Na Figura 42, apresenta-se o aeromodelo montado.

Figura 42 – Veículo Aéreo Não Tripulado

Fonte: Própria autoria.

4.2.2. Motor

O motor apresenta-se de suma importância para a realização do voo, pois tem a função de acelerar a aeronave, equilibrar o sistema e manter o voo horizontal,

sendo mais utilizado o do tipo trifásico *brushless* (sem escovas), já que são mais leves, eficientes e duráveis do que os tradicionais com escova a carvão. Além disso, a escolha correta do motor é fundamental, já que um motor muito pequeno não tem força suficiente para o voo e um muito grande ficará pesado demais para um voo satisfatório (MAGALHÃES, 2011, p.9).

O motor utilizado como propulsor para a plataforma VANT é da marca Turnigy, modelo: D2836/8. O motor apresenta potência máxima de 336 W e rotações do motor de 1100 Kv, específico para utilização com baterias de duas a quatro células e para tensão de trabalho de 7,4 a 14,8 Volts, atingindo uma corrente máxima de 18 A (Figura 43).

Figura 43 – Motor Turnigy

Fonte: Própria autoria.

4.2.3. Bateria

Fator de extrema importância pelo fato de ser a peça responsável pela energização do sistema. As atuais e mais modernas baterias são as de polímeros de lítio (LiPo). Elas possuem normalmente três células (3S) com uma tensão de 11,1Volts e são uma boa opção em termos de peso e preço, sendo adequadas para a maioria dos aeromodelos utilizados atualmente. (MAGALHÃES, 2011, p.22).

Segundo os estudos de Albuquerque, Lucena e Campos (2014, p.7), a bateria de polímero de lítio de 2200 mAh apresenta uma duração de trinta minutos para voo, sendo que baterias de capacidade maior apresentam uma autonomia ainda maior, podendo chegar até duas horas.

A bateria utilizada como fonte de energia no desenvolvimento desse aeromodelo é do tipo Lipo, da marca Turnigy. A bateria apresenta um conjunto

formado por três células, que atingem uma tensão de trabalho de 11,1Volts e 2200 mAh, apresentando um peso de 187g (Figura 44).

Figura 44 – Bateria Lipo 2.2

Fonte: Própria autoria.

4.2.4. Servo Motor

Trata-se, na realidade, de pequenos motores que transformam o sinal recebido em movimentos para controlar as superfícies de comando da aeronave, sendo os mais aplicáveis para aeromodelos elétricos os servos de 9g. Em alguns casos mais específicos, como helicópteros, são recomendados servos digitais, por serem mais rápidos e precisos (MAGALHÃES, 2011, p.20).

O servo motor utilizado é da marca Turnigy, especificação TG9e. Ele possui torque de 1,5 Kg, peso de 9 gramas e é necessário para o funcionamento das superfícies de comando do aeromodelo (Figura 45).

Figura 45 – Servo Motor

Fonte: Própria autoria.

4.2.5. ESC

Possui a função de controlar a quantidade de potência a ser enviada da bateria para o motor. O *electronic speed control* (ESC), cuja tradução é "controlador eletrônico de velocidade", possui duas categorias para motores: com escova ou sem escova, sendo importante verificar que a corrente máxima do ESC deve ser aproximadamente 40% acima do previsto no motor (MAGALHÃES, 2011, p.21).

O ESC utilizado é da marca Turnigy, especificação PLUSH-25A, e possui classe de tensão para utilização de 5,6 a 16,8 Volts, em corrente contínua (Figura 46).

Figura 46 – ESC

Fonte: Própria autoria.

4.2.6. Câmera FULL HD

A câmera a ser utilizada tem a seguinte especificação: FULL HD da marca Mobius. A câmera possui uma resolução de 1080 Full HD, em 30 fps para a gravação das imagens e uma resolução de 2048 x 1536 para fotografia, peso de 40 gramas e um tamanho de 50 mm x 32 mm x 13 mm (Figura 47).

Figura 47 – Câmera FULL HD

Fonte: Própria autoria.

4.2.7. Arducopter

É o sistema que será responsável pelo controle do pouso e da decolagem, quando o sistema estiver no modo autônomo, assim como pela estabilização da plataforma, de maneira a manter o veículo aéreo com uma melhor qualidade do voo (Figura 48).

Figura 48 – Arducopter

Fonte: Própria autoria.

4.2.8. *Global Positioning System - GPS*

É o conhecido sistema de posicionamento global que será responsável pelo posicionamento do veículo aéreo não tripulado, dentro da realização do percurso a ser cumprido pelo sistema autônomo (Figura 49).

Figura 49 – GPS

Fonte: Própria autoria.

4.2.9. Mini OSD

É o sistema que será responsável por manter a comunicação entre o sistema de terra, no caso um computador, e a aeronave que está em voo, para que se possam enviar informações de rota, por exemplo, assim como também receber informações das condições da bateria e altura da aeronave (Figura 50).

Figura 50 – Mini OSD

Fonte: Própria autoria.

4.2.10. Rádio Controle

O Rádio Controle será da marca Turnigy, com a especificação 9X 9Ch. O rádio é o sistema responsável pelo controle do aeromodelo, este estiver em seu funcionamento do tipo remotamente controlado, ou seja, quando da necessidade da interferência humana (Figura 51).

Figura 51 – Rádio Turnigy

Fonte: Própria autoria.

4.2.11. Mission Planner

Sistema responsável por receber as informações a serem captadas pelo GPS, que se encontra acoplado na aeronave, e, a partir desse ponto, o software torna-se o responsável pela gerência da rota, que será realizada pelo VANT, bem como por receber informações em sua tela, as quais estão sendo captadas pela telemetria, como a altura de voo do VANT em um determinado momento (Figura 52).

Figura 52 – Mission Planner

Fonte: Própria autoria.

4.3. Teste do Aeromodelo

Dentro das várias possibilidades de aeromodelos existentes no mercado, foi feita a escolha do tipo “asa fixa”, modelo Zagi, visto que este apresenta as características já citadas anteriormente, responsáveis por garantirem a eficácia das operações a que se propõe realizar a aeronave.

O primeiro teste para analisar o comportamento foi realizado no período da tarde, em dia de céu limpo e sem ventos fortes, para que fosse possível observar o comportamento do aeromodelo em voo.

A decolagem do aeromodelo foi realizada por meio de lançamento, durante o qual uma pessoa segurou o aeromodelo pela asa, para que o piloto pudesse fazer a decolagem controlada por controle remoto.

Já o pouso foi realizado em área livre, em superfície lisa, com grama ou mato baixo, mas poderia ter sido executado pelo “corte do motor” para que outra pessoa pudesse pegá-lo ainda em voo, não sendo esse último muito recomendado.

O tempo de testes foi de aproximadamente vinte minutos, tempo em que se testou a decolagem, curvas e o pouso do equipamento.

O segundo teste foi realizado também em uma tarde de céu claro e limpo, e o objetivo dessa vez era observar o comportamento do aeromodelo, com o acoplamento da câmera, que é responsável pela obtenção das imagens, durante o voo. O tempo de testes foi de aproximadamente vinte minutos, quando foram realizados testes de decolagem, curvas e pouso do aeromodelo, com a inserção de um novo equipamento.

O terceiro teste foi realizado de dia na parte da tarde em condições normais, sendo o objetivo do teste a obtenção de algumas imagens, para observação da qualidade da mesma e se a posição da câmera estava correta, sendo o tempo de duração do teste de aproximadamente trinta minutos.

O quarto teste foi realizado no período da manhã com o tempo em condições adversas; o dia se apresentava claro e limpo, mas com muito vento.

Os testes citados até esse ponto foram feitos com o sistema no tipo “voo controlado”, com um operador no comando direto da plataforma utilizada como VANT.

Depois de pequenos ajustes na plataforma foi possível o acoplamento de todo o equipamento, que foi responsável pelo controle automático para decolagem, pouso e controle do sistema de estabilidade do VANT, durante os voos para a obtenção das imagens.

Todos os testes realizados nessa etapa se deram em dias de boas condições e com céu limpo e claro, sem condições adversas, como a chuva, pois poderiam prejudicar os equipamentos eletrônicos, que compõem o sistema de controle da aeronave.

O quinto teste foi feito para o ajuste da plataforma com os novos equipamentos, pois, com a inserção desses, o sistema tornou-se mais pesado e também com a finalidade de ajuste, em relação ao centro de massa do novo sistema por completo.

O sexto teste foi realizado com a intenção de observar a qualidade das imagens que serão utilizadas no desenvolvimento do trabalho, por meio da utilização do sistema autônomo.

A realização do sétimo teste foi feito em dia claro e com céu limpo, porém as condições climáticas apresentavam movimentação de ar mais intensa, procurando analisar a estabilidade do sistema autônomo.

O oitavo teste teve como objetivo a realização de um voo em condições adversas, já que havia vento com certa intensidade, testando-se, assim, o comportamento do sistema quanto à estabilização do voo e obtenção de imagens.

Todos os voos foram realizados, num raio de aproximadamente trinta e cinquenta metros do piloto ou da estação onde estava o computador responsável por receber e enviar as informações, sendo possível obter essas informações pela telemetria que se encontra acoplada no aeromodelo.

O período de realização dos voos controlados foi realizado entre agosto e dezembro de 2014, já os voos autônomos foram realizados entre fevereiro e agosto de 2015.

Tabela 1 – Características dos testes realizados com VANT

TESTES REALIZADOS							
TIPO DE VOO	TESTES	ALTURA (m)	VELOCIDADE (km/h)	PERÍODO	CONDIÇÕES DO TEMPO	TEMPO (min)	OBSERVAÇÃO
CONTROLADO	1	60	20	Tarde	Claro / Limpo / Sem Ventos	20	Comportamento da Aeronave
	2	40	25	Tarde	Claro / Limpo / Sem Ventos	20	Comportamento da Aeronave com a Câmera
	3	40	20	Tarde	Claro / Limpo / Sem Ventos	30	Obtenção de imagens
	4	60	25	Manhã	Claro / Limpo / Ventos Fortes	20	Comportamento da Aeronaves em Condições Adversas
AUTOMÁTICO	5	40	25	Tarde	Claro / Limpo / Sem Ventos	20	Ajuste da Plataforma com Novos Equipamentos
	6	40	20	Tarde	Claro / Limpo / Sem Ventos	40	Qualidade das Imagens
	7	40	25	Tarde	Claro / Limpo / Ventos Fortes	20	Estabilidade do Sistema Automático
	8	40	20	Manhã	Claro / Limpo / Ventos Fortes	30	Estabilização do Voo para Obtenção de Imagens

Fonte: Própria autoria.

4.4. Áreas de monitoramento

As áreas monitoradas foram áreas de plantação e de pastagens, sendo os voos realizados em situações em que a terra vinha sendo preparada para o plantio, e, posteriormente, com a plantação já realizada, bem como em áreas onde havia a presença de rebanhos em pastagens.

Esses testes foram realizados nessas áreas com a intenção de atingir o objetivo desta dissertação: a realização de análises da observação das características das plantações e das características das situações dos pastos e, também, para o monitoramento de rebanhos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o funcionamento do veículo aéreo não tripulado, foi possível fazer uma análise dos resultados esperados, quanto ao seu desempenho em voo e seu desempenho com relação à obtenção de imagens e filmagens aéreas de propriedades rurais.

Durante esse primeiro teste, o aeromodelo apresentou um voo com características instáveis, mostrando-se de difícil controle para o piloto, sendo necessário fazer o pouso para a realização de ajustes nas superfícies de comando.

Feitos os ajustes nos servos motores, que são responsáveis pelo controle das superfícies de comando, foram realizados novos testes, no mesmo dia e em condições iguais às anteriores. Neste voo, logo após os pequenos ajustes, o sistema já apresentou característica estável e condições para voo.

No segundo teste, após o acoplamento da câmera, foi feita a decolagem do aeromodelo e novamente este se apresentou com características instáveis para um voo de monitoramento, sendo necessário o pouso para ajuste. Neste caso, foi realizado o ajuste do centro de massa do aeromodelo, devido ao peso da câmera, junto à fuselagem, sendo este ajuste já esperado.

O ajuste foi feito mudando a localização da bateria, já que esta é o equipamento que apresenta maior peso, e, nesse caso, provoca maior interferência no centro de massa do sistema.

Realizados os ajustes necessários no próprio local do teste, foi concretizada nova avaliação no mesmo dia e em condições iguais às anteriores. Neste voo, logo após os pequenos ajustes, o sistema ainda apresentou característica de instabilidade, sendo necessário um outro pouso para novos ajustes.

Nesse momento, foi necessária uma pequena mudança na localização da câmera. Novamente realizou-se outra decolagem, e, neste momento, o sistema já apresentou característica estável e em condições para voo.

Com o objetivo de realizar o terceiro teste foi feita a decolagem para analisar qual a melhor posição de instalação da câmera para uma correta obtenção das imagens.

Já para o teste ocorrido em um dia com muitos ventos, o voo se apresentou muito instável para este tipo de aeromodelo, sendo a qualidade das imagens insatisfatória para o objetivo de monitoramento das áreas.

Os testes realizados em relação ao desempenho do aeromodelo, no início, não se encontravam dentro dos parâmetros esperados, pois o tempo de duração da bateria, durante o voo, era baixo demais para que fosse possível abranger uma área razoável para monitoramento.

Com essa análise realizada em campo, tornou-se necessária a busca de uma superfície mais adequada para ser possível o monitoramento. Sendo assim, com a atual plataforma, houve um ganho considerável do tempo de voo; passou-se dos vinte minutos para um tempo de autonomia de voo de, aproximadamente, quarenta e cinco minutos, levando-se em consideração as condições climáticas satisfatórias para a realização desse sobrevoo em uma área de plantio.

A criação de um local onde todos os equipamentos ficassem alojados dentro da própria fuselagem do aeromodelo ajudou na qualidade do voo, já que este sofreu menos arrasto do vento de superfície — situação que anteriormente não estava sendo aplicada, pois todos os equipamentos ficavam ao longo da própria fuselagem do aeromodelo, provocando assim um arrasto maior para o motor.

A escolha do motor foi também um fator de extrema importância, já que no início das atividades utilizava-se um motor com maior força de propulsão. Consequentemente, conseguia-se alcançar altitude mais rapidamente e também um voo de cruzeiro mais veloz, porém o consumo de bateria era maior, diminuindo assim a autonomia de voo. Com o motor atual, mais lento, foi possível obter um ganho na autonomia e atingir uma velocidade de cruzeiro ideal para o monitoramento das atividades do agronegócio.

Outro fator importante foi em relação à escolha do material — o isopor — que constitui toda a fuselagem do aeromodelo. A escolha desse material se deu devido ao fato de ele ser leve e resistente para a finalidade desejada, pois, no caso de algum dano junto à fuselagem, seu reparo torna-se fácil e rápido e com um custo bem menor.

Para dar maior resistência ao material, foi aplicada uma camada de fita adesiva, proporcionando à fuselagem resistência tanto no pouso quanto na decolagem.

A utilização de um aeromodelo equipado com os equipamentos necessários para que este funcione como um veículo aéreo não tripulado é de grande valia para a obtenção de imagens e vídeos, e, consequentemente, para futuras análises nas diversas áreas de atuação, como a de áreas devastadas, queimadas e obtenção de

imagens referentes à observação de solos que receberão uma determinada cultura, como pode ser visualizado por meio da Figura 53.

Estas imagens poderão ser utilizadas para uma tomada de decisão do gestor do setor do agronegócio, favorecendo-o em relação à melhor maneira de aproveitar o solo, que será utilizado para o plantio de uma determinada cultura, bem como as suas condições.

Figura 53 – Área a ser plantada

Fonte: Própria autoria.

Sua utilização também tem grande aplicação na obtenção de informações de áreas de plantações, sendo possível fazer a análise de determinada cultura, que fora plantada na propriedade em análise.

A Figura 54 mostra a imagem de uma área com a plantação feita. Nesta situação na qual o plantio já ocorreu, o empreendedor pode analisar se a plantação está de acordo com esperado, bem como se há a necessidade de ajuste na área em análise.

Figura 54 – Imagem aérea da plantação

Fonte: Própria autoria.

Na análise dessa mesma área foi possível observar, com um sobrevoo em uma altura maior, se a plantação apresentava algum tipo de irregularidade, ou seja, se ela continha algum tipo de falha (Figura 55).

Figura 55 – Imagem do sobrevoo alto em busca de falhas na plantação

Fonte: Própria autoria.

Encontrado o ponto de falha na plantação por meio do sobrevoo da região, foi possível realizar as interferências que se faziam necessárias para a correção do problema (Figura 56).

Figura 56 – Imagem do sobrevoo baixo sobre a falha na plantação

Fonte: Própria autoria.

Observaram-se, então, com o sobrevoo na área em monitoramento, algumas possibilidades de análise da situação do solo ou da plantação.

Outra opção de utilização do VANT é o monitoramento de rebanhos, conforme mostra a Figura 57.

Figura 57 – Imagem do sobrevoo alto sobre o rebanho

Fonte: Própria autoria.

Por meio de um voo em altitude mais baixa, pode-se observar com maior e melhor detalhamento as imagens do rebanho, conforme Figura 58.

Figura 58 – Imagem do sobrevoo baixo sobre o rebanho

Fonte: Própria autoria.

Com o sobrevoo ainda mais baixo, observa-se também o momento em que os bovinos estão pastando, conforme Figura 59.

Figura 59 – Imagem dos bovinos pastando

Fonte: Própria autoria.

Caso seja necessário, o sobrevoo pode ser um pouco mais baixo. É possível observar que, além dos bovinos, tornou-se possível analisar a qualidade do pasto, conforme Figura 60.

Figura 60 – Imagem dos bovinos pastando e análise do pasto

Fonte: Própria autoria.

Até este momento, as imagens e os resultados obtidos foram realizados com o sistema no modo controlado por um operador, sendo que, a partir desse ponto, as imagens e resultados foram feitos como o sistema no modo automático.

No quinto teste, o resultado foi surpreendente. O aeromodelo se apresentava em condições de voo, porém foi feito um pequeno ajuste no centro de gravidade, com a alteração da posição do sistema *arducopter*, para que este apresentasse ainda melhores condições de voo.

Já para o sexto teste a obtenção dos resultados referentes à qualidade das imagens foram muito satisfatórias, devido à qualidade das imagens geradas pela

câmera. No sétimo teste realizado a plataforma apresentou grande estabilidade em voo, já para o nosso último teste a plataforma e também o sistema de controle autônomo, apresentaram um ótimo resultado tanto para a obtenção das imagens, quanto para a estabilidade de voo.

Tabela 2 – Resultados dos testes realizados com VANT

RESULTADOS					
TIPO DE VOO	TESTES	VOO	AJUSTE	TIPO DE AJUSTE	OBSERVAÇÃO
CONTROLADO	1	Instável	Sim	Servos Motores	Após os Ajustes voo ficou estável
	2	Instável	Sim	Posição da Bateria	Após os Ajustes voo ficou estável
	3	Estável	Sim	Posição da Câmera	Melhor Posição para Obtenção de Imagens
	4	Instável	Não	-	Qualidade das Imagens Insatisfatória
AUTOMÁTICO	5	Estável	Sim	Posição Arducopter	Melhor Condições de Voo
	6	Estável	Não	-	Grande Estabilidade e Qualidade das Imagens
	7	Estável	Não	-	Após os Ajustes voo ficou estável
	8	Estável	Não	-	Após os Ajustes voo ficou estável

Fonte: Própria autoria.

As imagens obtidas por meio da utilização do sistema de controle autônomo podem ser observadas nas figuras que seguem, como o acompanhamento do terreno para o plantio, conforme se pode ver na Figura 61.

Figura 61 – Imagem do terreno sendo preparado

Fonte: Própria autoria.

Outro tipo de acompanhamento que pode ser feito diz respeito a qualidade do pasto a ser utilizado pelos animais, de acordo com Figura 62.

Figura 62 – Imagem do pasto

Fonte: Própria autoria.

O sistema também possibilitou visualização dos animais, enquanto se deslocavam e durante a pastagem, como mostrado na Figura 63, por meio de um sobrevoo alto.

Figura 63 – Imagem dos bovinos pastando sobrevoado

Fonte: Própria autoria.

Já em relação às Figuras 64 e 65, em vez de um sobrevoo alto, o sistema permite que ajustes de altura sejam feitos durante o voo, aproximando, assim, a área e os animais monitorados.

Figura 64 – Imagem dos bovinos pastando visão geral

Fonte: Própria autoria.

Figura 65 – Imagem dos bovinos pastando sobrevoo baixo

Fonte: Própria autoria.

Por meio das análises realizadas em campo, pode-se observar a importância da implantação de novas tecnologias no agronegócio, pois essa tecnologia vem para contribuir, junto à inovação da agricultura e zootecnia de precisão, auxiliando o empreendedor a gerenciar suas atividades finais, de maneira a propiciar uma melhoria ou uma maior rapidez no processo de tomada de decisão. Sendo assim, a implantação de veículos aéreos não tripulados para indústria animal, também tem grande peso, pois facilita o monitoramento dos rebanhos em lugares de difícil acesso, sem a necessidade de o produtor estar presente.

Este monitoramento pode ser realizado praticamente em apenas um voo planejado, sem a presença de ruído que possa incomodar o animal no pasto, trazendo assim um bem-estar maior ao animal — o que é importante tanto para o próprio animal, quanto para o produtor, além de favorecer a sociedade e também o produto final, que será destinado à população.

Dessa forma, observa-se que a utilização deste equipamento tem muito a contribuir para a qualidade do produto final, no ramo do agronegócio, viabilizando a confiança no produto, e, conseqüentemente, garantindo um aumento na lucratividade — ambos resultados de grande interesse a todas as partes envolvidas no processo de produção e viabilização do produto final.

6. CONCLUSÃO

Embasado nos resultados obtidos, durante o desenvolvimento da pesquisa e nos testes realizados em campo, é possível afirmar que o resultado final adquirido com os experimentos e com os estudos realizados aponta como plausível e viável, tanto para os pequenos, como para os grandes produtores, a utilização de VANTs, com a finalidade de monitorar e acompanhar as atividades da pecuária, bem como das atividades de cultivos (plantações), além de identificar, também, a possibilidade de uso dessa tecnologia em outras áreas, como a segurança e o controle de queimadas, além de outros problemas que afetam o meio ambiente.

O modelo do tipo ZAGI utilizado nesse estudo apresentou resultados satisfatórios para sua aplicação em monitoramento de propriedades rurais, em especial na obtenção de imagens de áreas plantadas e para o monitoramento de rebanhos e animais em pasto, e também para pouso e decolagem em pequenas áreas, sem a necessidade de pista de pouso e decolagem.

Podemos concluir que o modelo escolhido como plataforma para o VANT possui uma grande estabilidade de voo, tanto no modo autônomo, como no modo controlado (piloto em solo).

Apesar de a aeronave ser constituída de material simples no seu desenvolvimento e construção, esta apresenta grande rigidez para suportar algumas situações que surjam como adversas para sua utilização, tais quais ventos fortes ou mesmo o contato direto com o solo, já que ela não apresenta um sistema de trem de pouso, conforme observado durante os testes realizados.

Assim, pode-se dizer que o objetivo inicial desta dissertação foi alcançado, por meio da construção de um aeromodelo, e que este também atingiu seus objetivos com um voo estabilizado e em condições de obter imagens para a análise das superfícies ou de animais a serem monitorados.

Outro objetivo alcançado foi a utilização do VANT no monitoramento de áreas e rebanhos, tanto com um piloto remoto quanto sem ele, ou seja, o modelo se mostrou viável, mesmo quando controlado remotamente por um piloto em solo; também se mostrou eficiente em voo autônomo.

Dessa forma, a proposta inicial da pesquisa foi alcançada de forma satisfatória, mostrando de maneira prática e inovadora uma tecnologia a mais para o

auxílio à agricultura e à zootecnia de precisão, que tem como objetivo facilitar a vida do trabalhador rural.

Esta contribuição que o VANT traz para a gestão e inovação da indústria animal é de suma importância e de extrema valia, pois pode facilitar o trabalho dos gestores dentro da administração de uma propriedade rural.

Como sugestão para trabalhos futuros, fica a ideia do tratamento das imagens obtidas, buscando-se, assim, desenvolver algo novo; pode-se pensar também na sua implementação, com a utilização de equipamentos mais sofisticados e que ofereçam a possibilidade de filmagens, com a utilização de câmeras que possam otimizar e ajustar o zoom em tempo real, durante os sobrevoos, melhorando ainda mais a sua aplicabilidade.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. **Uso de drones na agricultura de precisão é tema de estudo na Esalq.** ago. 2013. Disponível em: < <http://www5.usp.br/31918/uso-de-drones-na-agricultura-de-precisao-e-tema-de-estudo-na-esalq/>>. Acesso em: 03 mar. 2015.

ALBUQUERQUE, J. C.; LUCENA, S. C.; CAMPOS, C. A. V. **Investigação sobre o Uso de VANTs em Redes DTN para Cenários de Emergência.** 2014. Disponível em: <<http://sbrc2014.ufsc.br/anais/files/wgrs/anaisWGRS2014.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2015.

ALVES NETO, A. **Geração de trajetórias para veículos aéreos autônomos não-tripulados.** 2008. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

ÁNGEL MUÑOZ, M. **Manual de Vuelo.** [2004?]. Disponível em: <<http://www.manualvuelo.com>>. Acesso em: 22 mai. 2015.

ANSELM, A. A. **Adoção da agricultura de precisão no rio grande do sul.** 2012. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <www.bibliotecadigital.ufrgs.br/>. Acesso em: 01 jun. 2015.

COUTO, J. L. V. **Aviação Agrícola.** [s.d.]. Disponível em: <<http://www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes/aviao.htm>>. Acesso em: 25 de mar. 2015.

DE GARMO, M. T. **Issues Concerning Integration of Unmanned Aerial Vehicles in Civil Airspace.** Center for Advanced Aviation System Development – Mitre, McLean, Virginia. 2004. Disponível em: <https://www.mitre.org/sites/default/files/pdf/04_1232.pdf>. Acesso em: 25 de mai. 2015.

EISENBEISS, H. **A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition.** International Workshop on "Processing and visualization using high – resolution imagery". Pitsanulok, Thailand. Nov. 2004. <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/5-W1/papers/11.pdf>>. Acesso em: 25 de mai. 2015.

FAVARIN, J. A. S.; PEREIRA, R. S.; PEGORARO, A. J.; LIPPERT, D. B. **Obtenção de fotografias aéreas de um povoamento de Pinus taeda L. com o VANT Microdrone MD4-1000.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR)., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 9340-9346. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00066-9 (Internet), 978-85-17-00065-2 (DVD). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW34M/3E7GHSF>>. Acesso em: 29 jul. 2015.

FERREIRA, A. M. R.; ROIG, H. L.; MAROTTA, G. S.; MENEZES, P. H. B. J. **Utilização de aeronaves remotamente pilotadas para extração de mosaico georreferenciado multiespectral e modelo digital de elevação de altíssima**

resolução espacial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR)., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 9308-9315. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00066-9 (Internet), 978-85-17-00065-2 (DVD). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW34M/3E7GK6U>>. Acesso em: 29 jul. 2015.

FONTANARI, A. A. L. **Sistema de planejamento e controle de missão de um veículo aéreo não tripulado aplicado em redes de sensores sem fio.** 2011. 82 f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

GALVES, et al. **Infraestrutura para o controle servo visual de um dirigível robótico.** VI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente. Bauru, 2003. p. 20.

HERWITZ, S.R; et al. **Imaging from an unmanned aerial vehicle:** agricultural surveillance and decision support. Computers and Electronics in Agriculture. Volume 44, Issue 1, July 2004, Pages 49–61.

HOMA, J. **Aerodinâmica e Teoria de Voo:** Noções Básicas. 30. ed. São Paulo: Asa - Edições e Artes Gráficas Ltda, 2011. 125 p.

JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y.; CARMO, R. B. **Desenvolvimento de um VANT totalmente configurado para aplicações em Agricultura de Precisão no Brasil.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR)., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 399-406. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/39UFN8H>>. Acesso em: 28 jul. 2015.

LONGHITANO, G. A. **VANTS para sensoriamento remoto:** Aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas. 2010. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MAGALHÃES, A. C. **Aeromodelismo elétrico básico.** 2011. Disponível em: <<http://www.spsafe.com.br/downloads/manualevoo.pdf>>. Acesso em: 22 mai. 2015.

MARTINS, A. S. **Instrumentação e Controle de Atitude para Helimodelismo Montado em uma Plataforma de Testes.** 2008. 81 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

MEDEIROS, F A. **Desenvolvimento de um Veículo Aéreo Não Tripulado para Aplicação em Agricultura de Precisão.** 2007. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MEDEIROS, F. A. et al. **Utilização de um veículo aéreo não-tripulado em atividades de imageamento georeferenciado.** Ciência Rural, Santa Maria, v. 38, n. 8, p.2375-2378, nov. 2008.

NASA. **Earth Observations and the Role of UAVs.** 2006. Disponível em: <http://www.nasa.gov/centers/dryden/research/civuav/civ_uav_doc-n-ref.html>. Acesso em: 22 mar. 2015.

NOGUEIRA, R. **Manual básico para construção de ZAGIs**. 2008. Disponível em: <<http://www.spsafe.com.br/downloads/manualzagi.pdf>>. Acesso em: 22 mai. 2015.

OECD – Organization for Economic Co-operation and Development. **Proposed Guidelines for Collecting and Interpreting Technological Innovation Data – Oslo Manual**. 3º ed. Paris: OECD, 1997. Disponível em: <www.oecd.org/newsroom/38528123.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2015.

ÖZDEMİR, S. **Multi objective conceptual design optimization of na agricultural aerial robot**. 2005. 182f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aeroespacial) Middle East Technical University, Turquia. Disponível em: <<https://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12606610/index.pdf>>. Acesso em: 30 mai. 2015.

RASI, J. R. **Desenvolvimento de um Veículo Aéreo Não Tripulado para aplicação em pulverização agrícola**. 2008. 70 f. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

SAMPAIO, R. P. **Sistema de controle de atitude embarcado para vôo autônomo de aviões em escala**. 2006. 186 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006.

SILVA, G. G. et al. **VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS COM VISÃO COMPUTACIONAL NA AGRICULTURA: APLICAÇÕES, DESAFIOS E PERSPECTIVAS**. 2º Seminário Internacional de Integração e Desenvolvimento Regional, Ponta Porã, out. 2014.

SILVA NETO, M. Como **utilizar imagens aéreas na agricultura de precisão?** 13 de Setembro de 2013. Disponível em: <<http://www.agrimensordofuturo.com/post.cfm?id=42>> Acesso em 20/01/2015.

SILVEIRA, V. **Brasil já desenvolve o veículo não tripulado**. São José dos Campos (SP), 03 jan. 2005. Disponível em <<http://www.defesanet.com.br/tecno/vant/>>. Acesso em: 30 abr. 2015.

SILVEIRA, R. M. C. F.; BAZZO, W. A. **Ciência e Tecnologia**: Transformando a relação do ser humano com o mundo. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL PROCESSO CIVILIZADOR, 9., 2005, Ponta Grossa. Anais. ISBN 85-7014-030-4 (internet), Disponível em: <<http://www.uel.br/grupo-estudo/processoscivilizadores/portugues/sitesanais/anais9/artigos/workshop/art19.pdf>>. Acesso em: 09 jun. 2015.

SIMPSON, A. D. **Development of an unmanned aerial vehicle for low-cost remote sensing and aerial photography**. 2003. *University of Kentucky Master's Theses*. Paper 191. Disponível em: <http://uknowledge.uky.edu/gradschool_theses/191>. Acesso em 25 mai. 2015.