

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOMÁTICA**

**USO DO VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO
MICRODRONE MD4-1000
NA OBTENÇÃO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS
DE UM POVOAMENTO DE *Pinus taeda* L.**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

José Augusto Spiazzi Favarin

Santa Maria, RS, Brasil

2012

**USO DO VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO MICRODRONE
MD4-1000 NA OBTENÇÃO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS
DE UM POVOAMENTO DE *Pinus taeda* L.**

José Augusto Spiazzi Favarin

Monografia apresentada ao Curso de Especialização do Programa de Pós-Graduação em Geomática, Área de Concentração em Tecnologia da Geoinformação, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para a obtenção do grau de **Especialista em Geomática.**

Orientador: Prof. Dr. Rudiney Soares Pereira

Santa Maria, RS, Brasil.

2012

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOMÁTICA**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Monografia de Especialização.**

**USO DO VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO MICRODRONE
MD4-1000 NA OBTENÇÃO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS
DE UM POVOAMENTO DE *Pinus taeda* L.**

elaborada por
José Augusto Spiazzi Favarin

como requisito para obtenção do grau de
Especialista em Geomática

COMISSÃO EXAMINADORA:

Rudiney Soares Pereira, Dr.
(Presidente/Orientador)

Elódio Sebem, Dr. (UFSM)

Antoninho João Pegoraro, Msc. (UFSM)

Santa Maria, 6 de setembro de 2012.

*À minha Mãe Maria Cristina
e à minha Irmã Simone, pela
paciência, compreensão e
confiança, dedico.*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Geomática.

Ao Prof. Rudiney Soares Pereira por ter aceitado me orientar no Curso de Especialização em Geomática e pela oportunidade de trabalhar com a tecnologia dos VANTs.

Aos Professores Antoninho João Pegoraro, Elódio Sebem e à Professora Liane de Souza Weber por gentilmente terem aceitado participar desta banca.

Novamente aos Professores Rudiney e Antoninho e também ao colega Diogo Belmonte Lippert pelas discussões que estabelecemos a cerca do *microdrone* e pelas “jornadas” a campo.

Ao João Henrique Quoos pelas suas contribuições no processamento das imagens obtidas pelo *microdrone*.

Ao colega de LABSERE Gilberto Quevedo Rosa e ao Acad. de Tecnologia em Geoprocessamento Bruno Zucuni Prina pela coleta dos pontos de controle com GPS.

À toda equipe do LABSERE pelas nossas trocas de ideias, conversas e divagações sobre a floresta, tecnologias e coisas do nosso cotidiano.

Ao povo da floresta, os antigos e os novos que conheci por ter ficado mais esse período de formação na UFSM, pelos bons momentos que compartilhamos durante esse tempo.

À minha família e principalmente à minha Mãe e à minha Irmã, a elas, palavras não seriam o suficiente para demonstrar o quanto tenho a agradecer.

Muito obrigado!

*“Uma alma sob tensão que está aprendendo a voar
Aterrado pelas circunstâncias, mas determinado a tentar.”*

(Learning to Fly, Pink Floyd)

RESUMO

Monografia de Especialização
Programa de Pós-Graduação em Geomática
Universidade Federal de Santa Maria

USO DO VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO MICRODRONE MD4-1000 NA OBTENÇÃO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS DE UM POVOAMENTO DE *Pinus taeda* L.

AUTOR: JOSÉ AUGUSTO SPIAZZI FAVARIN

ORIENTADOR: PROF. DR. RUDINEY SOARES PEREIRA

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 6 de setembro de 2012.

Este estudo teve por finalidade realizar a mensuração de um povoamento de *Pinus taeda* L. em Fotografias Aéreas de Pequeno Formato (FAPEF) utilizando o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) *microdrone* md4-1000. A área de estudo está localizada dentro do campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), onde foi delimitada uma parcela de 1292,33m². Com o uso de um receptor RTK (*Real Time Kinematic*) do sistema GNSS (*Global Navigation Satellite System*) foram obtidas coordenadas de 11 alvos dispostos no solo e, também, de 6 vértices pertencentes aos canteiros do trevo do acesso oeste da UFSM. A câmera utilizada foi a *Olympus Pen E-P1* de 12MP e 17mm de distância focal nominal. O voo foi realizado sobre a área a uma altura média de 104,33m, proporcionando uma resolução espacial de 2,68cm. A essa altura foram obtidas 10 fotografias, das quais uma foi selecionada como unidade amostral. Após o voo foi feita a leitura do cartão SD do *microdrone*, fornecendo dados do voo para posterior análise e geração de relatórios. A fotografia selecionada foi georreferenciada e nela a delimitação da parcela de estudo, na qual foram contadas 80 árvores e destas, 52 tiveram suas copas medidas na fotografia e a sua respectiva circunferência à altura do peito (CAP) medida a campo. De posse desses dados foi ajustado um modelo para descrever a relação entre a área de copa e a área basal, resultando num coeficiente de determinação $R^2 = 0,279$. O uso do *microdrone* md4-1000 mostrou-se promissor para aplicações em recursos florestais, proporcionando grande detalhamento nas fotografias obtidas devido à alta resolução espacial.

Palavras-chave: VANT. *microdrone*. FAPEF. Floresta.

ABSTRACT

Monograph of Specialization
Graduate Program in Geomatics
Federal University of Santa Maria

USE OF UNMANED AERIAL VEHICLE MICRODRONE MD4-1000 IN THE ACQUISITION OF AERIAL PHOTOS OF *Pinus taeda* L. FOREST.

AUTHOR: JOSÉ AUGUSTO SPIAZZI FAVARIN

ADVISOR: PROF. DR. RUDINEY SOARES PEREIRA

Place and Date of Examination: Santa Maria, September 6, 2012.

This study aimed to perform the measurement of *Pinus taeda* L. forest on Small Format Aerial Photographs (SFAP) using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) microdrone md4-1000. The study area is located on the campus of Federal University of Santa Maria (UFSM), which was enclosed a portion of 1292.33 m². With the use of a GNSS receiver RTK coordinates were obtained from 11 targets arranged on the ground and also to 6 vertices belonging to the beds Shamrock west access UFSM. The camera used was the Olympus Pen E-P1 12MP and 17mm focal length nominal. The flight was carried out over the area to a height of 104.33 m, providing a spatial resolution of 2.68 cm. At this height were obtained 10 photographs of which one was selected as the sample unit. After the flight was made to read the SD card microdrone providing flight data for later analysis and reporting. The selected photo it was georeferenced to the delimitation of the study plot, in which 80 trees were counted and of these, 52 had their crowns in the photograph measures and the CAP measured field. With this data set was a model to describe the relationship between crown area and basal area, resulting in a coefficient of determination $R^2 = 0,279$. The use of microdrone md4-1000 showed promise for applications in forest resources, providing great detail in the photographs obtained due to the high spatial resolution.

Keywords: UAV. Microdrone. SFAP. Forest.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – <i>Microdrone</i> md4-1000 com a câmera Olympus Pen E-P1.	20
Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo.	26
Figura 3 – Alvo de referência de decolagem, à direita, e alvo para pontos de controle, à esquerda.	28
Figura 4 – Tela <i>Player</i> do <i>mdCockpit</i>	33
Figura 5 – Tela <i>Route</i> do <i>mdCockpit</i>	35
Figura 6 – Tela <i>Map</i> do <i>mdCockpit</i>	36
Figura 7 – Rota de voo projetada sobre imagem do <i>Google Earth</i>	37
Figura 8 – Fotografia aérea utilizada como unidade amostral.	38
Figura 9 – Parcela de estudo.	39
Figura 10 – Detalhe das copas vetorizadas.	40
Figura 11 – Mapa das áreas das copas.	41
Figura 12 – Reta do ajuste do modelo de regressão.	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações técnicas do MD4-1000, adaptado de Microdrones GmbH (2011).....	21
Tabela 2 - Condições de operação do MD4-1000, adaptado de Microdrones GmbH (2011).....	21
Tabela 3 - Parâmetros da calibração da câmera Olympus Pen E-P1.	27
Tabela 4 – Modelos testados para descrever a relação da área de copa e área basal.	42

LISTA DE SIGLAS

ASPRS – *American Society for Photogrametry and Remote Sensing*

CAP – Circunferência à Altura do Peito

EUA – Estados Unidos da América

FAPEF – Fotografia Aérea de Pequeno Formato

GCP – *Ground Control Point*

GMT – *Greenwich Meridian Time*

GNSS – *Global Navigation Satellite System*

GPS – *Global Position System*

IMU – *Inertial Measurement Unit*

RMS – *Root Mean Square*

RTK – *Real Time Kinematic*

SV – *Satelite Vehicle*

UAV – *Unmaned Aerial Vehicle*

UFMS – Universidade Federal de Santa Maria

VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Relatório automático para análise de parâmetros importantes e leituras dos sensores.....	49
Apêndice B – Mosaico das fotografias obtidas a 104m de altura.....	50
Apêndice C – Relatório de atitude do <i>drone</i>	51
Apêndice D – Dados de inventário e pares de dados utilizados na análise de regressão.	52

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 Sensoriamento Remoto	17
3.2 Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT)	18
3.2.1 <i>Microdrone</i> md4-1000	19
3.3 Fotografias aéreas de pequeno formato	22
3.4 Mensuração florestal	22
3.4.1 Relações entre dimensões da copa e dimensões do tronco	23
4 MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1 Descrição da espécie	25
4.1.1 <i>Pinus taeda</i> L.	25
4.2 Caracterização da área de estudo	25
4.3 Voo sobre a área de estudo.....	27
4.3.1 Câmera digital utilizada	27
4.3.2 Obtenção de coordenadas de alvos no solo	28
4.3.3 Voo não tripulado	29
4.4 Mensuração nas fotografias aéreas	29
4.5 Mensuração Florestal.....	30
4.6 Relação área de copa e área basal	30
4.7 Processamento dos dados.....	31
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1 Voo não tripulado.....	32
5.2 Mensuração na fotografia aérea e no campo.....	37
5.3 Relação área de copa e área basal	42
6 CONCLUSÃO	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
APÊNDICES	48

1 INTRODUÇÃO

O ser humano sempre fantasiou em voar e ser livre, ver a Terra do alto, assim como os pássaros. Não nascemos com tal habilidade, mas buscamos através da imaginação, criatividade e persistência, meios que nos proporcionaram essa sensação de voar e poder ver como é a superfície da Terra e, também, registrar o que se observava, fosse para uma simples documentação ou para uma posterior análise criteriosa.

A primeira fotografia aérea que se tem conhecimento, conforme Jensen (2011), foi obtida em outubro de 1858 pelo fotógrafo retratista parisiense Gaspar Felix Tournachon, que subiu em um balão cativo sobre a cidade de Paris, França, mas esta fotografia foi perdida. A primeira fotografia aérea que se tem o registro até hoje, também conforme o autor supracitado, foi obtida com sucesso em 1860 por James W. Black e Samuel A. King que subiram em um balão cativo a uma altura de 350m sobre a cidade de Boston, EUA.

As fotografias aéreas apresentam um vasto número de aplicações, partindo da base cartográfica brasileira, que foi construída a partir de processos fotogramétricos, até fotografias aéreas de pequeno formato obtidas com câmeras digitais convencionais, utilizadas com caráter temático.

As plataformas de obtenção das fotografias aéreas evoluíram desde as primeiras fotos obtidas, e os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) ou UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*, em inglês) vem como uma tecnologia capaz de proporcionar mapeamentos de áreas com o uso de Fotografias Aéreas de Pequeno Formato (FAPEFs) a um custo inferior aos levantamentos fotogramétricos convencionais.

As FAPEFs para o uso na área florestal, segundo Disperatti, Oliveira Filho e Bernardi (2007), possibilitam a caracterização de florestas, mapeamento de danos causados por insetos e incêndios, fenologia e contagem de copas de árvores. Tais FAPEFs podem ser obtidas com a utilização dos VANTs que, com seu tamanho reduzido e facilidade no transporte, possibilitam um trabalho mais imediato em determinados casos.

Em situações de urgência de mapeamento florestal e/ou de dificuldade de acesso à área considerada, as fotografias aéreas ou outro produto de sensores remotos poderão ser a única ferramenta disponível para a tarefa (DISPERATI, OLIVEIRA FILHO e BERNARDI, 2007).

A fotointerpretação da vegetação parte do conhecimento básico de elementos comuns da flora e características de suas representações em fotografias aéreas, de modo que tais elementos possam ser identificados por um técnico especializado da área (SANQUETA et al., 2009).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Utilização de veículo aéreo não tripulado na obtenção de fotografias aéreas para fins de mensuração florestal.

2.2 Objetivos específicos

- Uso do *microdrone* md4-1000 e suas aplicações com os recursos disponíveis;
- Mensuração das áreas das copas de um povoamento de *Pinus taeda* L. a partir de fotografias aéreas de pequeno formato;
- Descrever a relação entre a área de copa e a área basal.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Sensoriamento Remoto

Sensoriamento Remoto foi formalmente definido pela *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS) como “a medição ou aquisição de informação de alguma propriedade de um objeto ou fenômeno, por um dispositivo de registro que não esteja em contato físico ou íntimo com o objeto ou fenômeno em estudo” (COLWELL, 1983).

De uma forma geral, Silva (2003) define sensoriamento remoto como um conjunto de técnicas que tem como objetivo específico medir características físicas de um objeto sem tocá-lo. Para Jensen (2011, p.4) sensoriamento remoto é:

O registro da informação das regiões do ultravioleta, visível, infravermelho e microondas do espectro eletromagnético, sem contato, por meio de instrumentos tais como câmeras, escâneres, lasers, dispositivos lineares e/ou matriciais localizados em plataformas tais como aeronaves ou satélites, e a análise da informação adquirida por meio visual ou processamento digital de imagens.

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

Segundo Ehlers (2005), os dados de sensoriamento remoto são adquiridos, predominantemente, de satélites, e estes são equipados com sistemas sensores que podem ser passivos (registram a radiação refletida ou emitida da superfície terrestre) ou ativos (possui uma fonte de energia própria, proporcionando a realização de imageamento diurno ou noturno).

Moreira (2005) define sensores como dispositivos capazes de detectar e registrar a radiação eletromagnética, em determinada faixa do espectro eletromagnético, e gerar informações que possam ser transformadas num produto passível de interpretação, seja na forma de imagem, na forma gráfica ou qualquer

outro produto. A representação dos objetos nessas imagens vai variar do branco (quando refletem muita energia) ao preto (quando refletem pouca energia) (FLORENZANO, 2002).

3.2 Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT)

Os VANTs são pequenas aeronaves que, sem qualquer tipo de contato físico direto, são capazes de executar diversas tarefas, tais como monitoramento, reconhecimento tático, vigilância e mapeamento, entre outras (MEDEIROS, 2007). De forma genérica, conforme Pegoraro e Philips (2011), são aeronaves normalmente projetadas para operar em situações perigosas e repetitivas em regiões consideradas hostis ou de difícil acesso.

De acordo com Jensen (2011, p.87):

Desde os anos de 1980, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD) investiu bilhões de dólares no desenvolvimento de veículos aéreos não tripulados para atender aos requisitos de missões específicas táticas ou daquelas que precisem de grande autonomia de voo para reconhecimento ou vigilância. Alguns VANTs permanecem no ar por horas a fio realizando um monitoramento contínuo de uma mesma área geográfica. Devido ao seu reduzido tamanho eles são praticamente imperceptíveis no espaço aéreo.

Para Barbosa e Roanhorse (2007), a principal diferença entre as imagens obtidas de satélites e as de VANTs está na resolução espacial, enquanto uma imagem do satélite Landsat-7 possui uma resolução espacial de 30m, a obtida por VANTs depende da altura de voo, variando entre centímetros até alguns metros.

Por essa flexibilidade em variar a sua altura de voo e conseqüentemente a sua resolução espacial, os VANTs levam vantagem até mesmo sobre os satélites de alta resolução que existem no mercado, como o IKONOS-II com 1m de resolução espacial e o GeoEye que possui 0,41m de resolução espacial.

Longhitano (2007) define as principais vantagens do sensoriamento remoto por VANTs, em relação ao aerotransportado por aeronaves tripuladas e ao orbital:

- a redução dos custos de obtenção de imagens/fotografias aéreas;
- a maior flexibilidade de resolução temporal para aquisição de imagens de alta resolução espacial;

- possibilidade de execução de missões em condições adversas, sem o risco de vida para o piloto e operador da câmera aerofotogramétrica;
- menor necessidade de gastos de treinamento de pilotos e;
- a maior facilidade e velocidade de incorporação de novas tecnologias.

A operação com cobertura de nuvens também é uma vantagem dos VANTs que podem sobrevoar abaixo destas, mesmo que a luminosidade seja menor sem a presença de sol pleno, ainda assim é possível realizar fotografias de alvos que estariam encobertos para satélites e aviões.

3.2.1 *Microdrone* md4-1000

O sistema md4-1000, que é produzido por Microdrones GmbH (empresa localizada na Alemanha), é concebido como uma plataforma designada para a realização de fotografias, sequências de vídeos ou de vigilância, controlada remotamente ou por voo autônomo. É um quadricóptero que possui um sistema de suporte de última geração, um chassi de fibra de carbono extremamente leve em conjunto com eletrônica adaptada de primeira classe e fotografias e imagens de vídeo obtidas a partir de uma determinada posição no ar (MICRODRONES GMBH, 2009).

O veículo emprega tecnologias que são normalmente encontradas apenas em aviação tripulada ou em VANTs militares, tais como GPS, navegação inercial, piloto automático e gravação de dados de voo (MICRODRONES GMBH, 2009).

O *microdrone* md4-1000, denominado neste estudo de *drone*, pode ser visualizado na figura 1.



Figura 1 – *Microdrone md4-1000* com a câmera *Olympus Pen E-P1*.

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

Pode voar por controle remoto ou de forma autônoma com a ajuda do sistema de navegação GPS *Waypoint*. O Editor de *Waypoint* fornece os meios para criar programas de plano detalhado de voo que o *drone* pode executar autonomamente (CARTOGALICIA S. L., 2010).

O núcleo da eletrônica é formado pelo chamado *IMU-Module* (*Inertial Measurement Unit Module* - Módulo de Unidade de Medição Inercial), que executa o dispositivo do rolamento e a estabilização da altura barométrica. O acelerômetro, o

barômetro, os giroscópios e o magnetômetro são outros sensores presentes (MICRODRONES GMBH, 2009).

As especificações técnicas e condições operacionais podem ser vistas na tabela 1 e na tabela 2, respectivamente.

Tabela 1 - Especificações técnicas do md4-1000, adaptado de Microdrones GmbH (2011).

Especificações técnicas do md4-1000	
Velocidade (ascensão)	7,5 m/s
Velocidade	15 m/s
Empuxo	118 N
Peso	2650g (dependendo da configuração)
Carga útil (recomendada)	800g
Carga útil (máxima)	1200g
Envergadura	1030 mm entre eixos (rotores)
Tempo de voo	Até 70' (depende da carga, vento e bateria)
Bateria	22,2V; 6S2P 12,2Ah ou 6S3P 18,3Ah LiPo

Tabela 2 - Condições de operação do md4-1000, adaptado de Microdrones GmbH (2011).

Condições de operação do md4-1000	
Temperatura	0° - 40°C
Umidade do ar (máxima)	80%
Velocidade do vento	Até 6 m/s
Raio de voo	1000m
Altitude	Até 4000m

3.3 Fotografias aéreas de pequeno formato

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

Conforme Disperati, Amaral e Schuler (2007), nas décadas de 70 e 80 a técnica da fotografia aérea de pequeno formato foi aceita principalmente porque as câmeras fotográficas convencionais do tipo 35 e 70mm, de custo acessível, viabilizaram a tomada de fotografias aéreas a um custo inferior do que o efetivado por empresas de aerolevanteamento, que utilizavam apenas sofisticadas câmeras aerofotogramétricas.

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

As fotografias aéreas de pequeno formato tem importante uso no mapeamento de florestas, no inventário florestal e no manejo dos recursos naturais. Elas têm um potencial muito maior que os levantamentos convencionais, pois possibilitam obter diferentes informações a baixo custo (SANQUETA et al., 2009).

3.4 Mensuração florestal

No setor florestal o conhecimento sobre os recursos existentes se dá através da medição ou estimação de atributos das árvores e das florestas, além de muitas características das áreas sobre as quais as árvores estão crescendo, por meio de instrumentos e métodos apropriados (SOARES, PAULA NETO e SOUZA, 2006).

Conforme Encimas, Silva e Ticchetti (2002), a mensuração florestal consiste em assinalar dentro da floresta, árvore ou parte dela, números às propriedades diretamente ponderáveis como objetos físicos ou eventos, podendo ser classificada em três áreas de atuação, como a dendrometria, que considera a árvore como objeto de medição, a dasometria ou inventário florestal, que lida com os povoamentos florestais e a epidometria, que trata das relações das variáveis dendrométricas com a idade da árvore.

Inventário Florestal é uma atividade que visa obter informações qualitativas e quantitativas dos recursos florestais existentes em uma área pré-especificada (PELLICO NETO e BRENA, 1997).

Conforme Sanqueta et al (2009), o inventário é uma técnica importante nas avaliações ambientais relativas aos recursos florestais e, talvez, até mesmo imprescindível ao bom conhecimento do potencial dos recursos existentes em uma determinada área, tomando como exemplo, a biomassa lenhosa existente no local de um empreendimento de base florestal.

A biomassa também pode ser quantificada, conforme Watzlawick, Kirchner e Sanqueta (2009), utilizando técnicas de sensoriamento remoto para realizar as estimativas, que com os desenvolvimentos relacionados aos avanços no processamento das imagens, tem-se obtido uma melhor caracterização da estrutura das florestas e, conseqüentemente, de sua biomassa e carbono.

Na Engenharia Florestal, segundo Sanqueta et al. (2009), os mapas ou cartas topográficas são instrumentos indispensáveis para o planejamento de praticamente todas as atividades de uso e conservação dos recursos naturais, assim como no inventário florestal, onde a definição das tipologias florestais se constitui numa informação essencial para um bom planejamento deste.

3.4.1 Relações entre dimensões da copa e dimensões do tronco

Conforme Nutto et al. (2001), as variáveis como superfície de copa, diâmetro de copa e comprimento de copa estão diretamente relacionados com o crescimento e a produção de matéria seca da árvore, e na maioria dos casos o diâmetro é estimado por medições de raios da copa e quanto mais raios são medidos, mais

precisa é a estimativa, mas deve-se considerar que haverá um maior tempo de trabalho para se medir um maior número de raios.

A pesquisa das relações interdimensionais das árvores é importante, pois permite prever o espaço exigido pela árvore ao longo de seu desenvolvimento, julgar a concorrência a que está submetida, além de possibilitar inferências sobre a estabilidade, vitalidade e produtividade de cada indivíduo (DURLO, 2001).

A produção de madeira em relação à área de copa é um referencial de grande valor para justificar a produtividade da árvore (SCHNEIDER e SCHNEIDER, 2008), o que pode ser visto também em Padoin e Finger (2010), que os diversos índices obtidos entre as dimensões da copa e do tronco buscam descrever a capacidade de crescimento e produção das árvores e da floresta.

Segundo Schneider e Schneider (2008), a área da copa projetada horizontalmente pode ser verificada pelas medições sobre o solo utilizando-se instrumentos para este fim como os espelhos especiais ou aparelhos para medir inclinação, ou pode ser medida através de fotografias aéreas, que é um método mais rápido que as medições a campo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Descrição da espécie

4.1.1 *Pinus taeda* L.

Oriundo das planícies adjacentes ao Golfo do México e costa atlântica do sudeste dos Estados Unidos, *Pinus taeda* L. cresce em geral em altitudes de até 800m. As árvores alcançam cerca de 20m de altura e 100cm de diâmetro a altura do peito, produzindo copa densa, casca gretada e ramos acinzentados (MARCHIORI, 2005).

4.2 Caracterização da área de estudo

A área de estudo está localizada entre as coordenadas 29°42'45" e 29°43'30" de latitude Sul e entre 53°43'30" e 53°42'45" de longitude Oeste, dentro do campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Santa Maria, Rio Grande do Sul, conforme a figura 2. No local há um povoamento florestal composto pela espécie *Pinus taeda* L. e foi plantado com espaçamento de 3x2m. Apesar de ter sido plantado com espaçamento regular, este povoamento não se apresentou homogêneo, tendo sido observadas árvores de diâmetros variados, árvores quebradas e algumas falhas nas linhas de plantio. A área recentemente sofreu intervenções para que fosse viabilizada a abertura do acesso oeste do campus da UFSM.

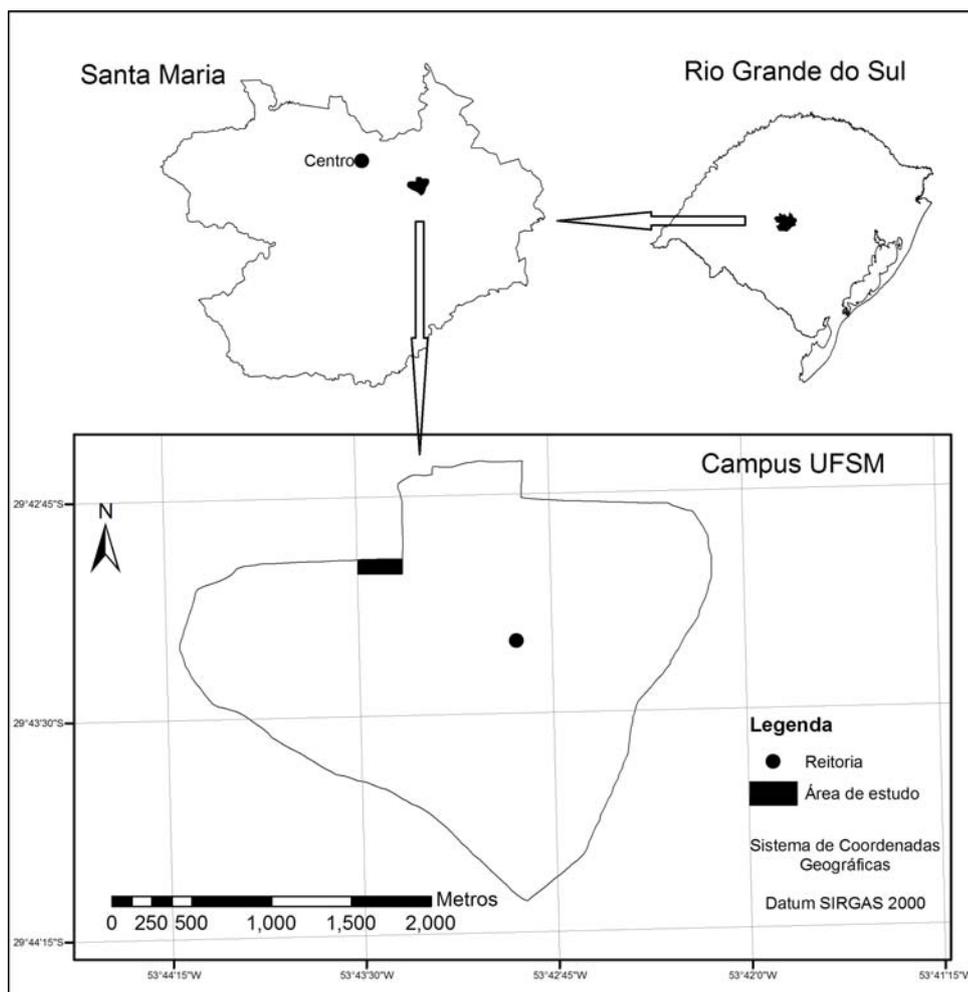


Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo.

O clima da região, de acordo com Moreno (1961), é denominado Subtropical “Cfa”, definido pela classificação de Köppen, e caracteriza-se por apresentar temperatura média do mês mais frio entre -3° e 18°C e do mês mais quente superior a 22°C , tendo a precipitação média anual distribuída todo o ano, estando entre 1700 e 1800mm.

Conforme Almeida et al. (1997), o solo na área do Campus da UFSM pertence à formação Santa Maria, do triássico com duas faces: o Membro Passo das Tropas (inferior) constituído predominantemente por arenitos grosseiros a médios de cores amarela e rosa-avermelhada intercalados com camadas de siltitos arenosos de cores vermelhas e púrpuras, indicativos de ambiente fluvial; e o Membro Alemoa constituído por siltitos argilosos maciços (lamitos) de cor vermelha, podendo ocorrer intercalado com cor cinza claro.

4.3 Voo sobre a área de estudo

4.3.1 Câmera digital utilizada

As fotografias aéreas foram obtidas a partir do *drone*, no qual foi acoplada uma câmera fotográfica *Olympus Pen E-P1* de 12MP de resolução e 17mm de distância focal nominal. A câmera foi calibrada no Laboratório de Sensoriamento Remoto da UFSM e obtiveram-se os parâmetros apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros da calibração da câmera *Olympus Pen E-P1*.

Parâmetro	Valor
<i>Focal length</i>	$f = 16,797493\text{mm}$
<i>Principal point</i>	$x_p = 8,659388\text{mm}$ $y_p = 6,480658\text{mm}$
<i>Sensor format</i>	$w = 17,409125\text{mm}$ $h = 13,062475\text{mm}$
<i>Radial distortion</i>	$K_1 = 2,091^{-4}$ (adimensional) $K_2 = -4,433^{-7}$ (adimensional)
<i>Decentering distortion</i>	$P_1 = 6,004^{-5}$ (adimensional) $P_2 = -3,164^{-5}$ (adimensional)

Existem câmeras com resoluções maiores que a utilizada nesse estudo e que podem proporcionar uma resolução espacial maior, no entanto deve-se observar a compatibilidade da câmera com a conexão do *drone* para que se tenha o acionamento remoto ou pela programação de voo do *drone*.

4.3.2 Obtenção de coordenadas de alvos no solo

Primeiramente, antes que a decolagem do *drone* fosse efetuada, foram dispostos no solo 11 alvos distribuídos pela área de estudo de modo que fossem identificados posteriormente nas fotografias aéreas, sendo que um dos alvos foi usado como referência para a decolagem do *drone*. O alvo de decolagem possui as dimensões de 1,00x0,60m, enquanto que os demais alvos possuem dimensões de 0,5x0,5m (Figura 3).



Figura 3 – Alvo de referência de decolagem, à direita, e alvo para pontos de controle, à esquerda.

Todos os alvos tiveram suas coordenadas obtidas por um receptor do sistema de navegação global por satélite (GNSS - *Global Navigation Satellite System*, em

inglês) modelo Topcon Hiper GGD com sistema de correção em tempo real RTK (*Real Time Kinematic*), e, juntamente com os alvos, também foram obtidas as coordenadas de mais seis pontos, localizados nos vértices dos canteiros que fazem parte do trevo do acesso oeste da UFSM. Totalizando, assim, 17 pontos com coordenadas conhecidas, os quais serviram para o georreferenciamento das fotografias aéreas.

4.3.3 Voo não tripulado

Antes de começar o voo foi feito um alinhamento do *drone* com o povoamento de *Pinus*, que, em sua face sul, seguia o alinhamento da estrada. Para isso foi utilizada a bússola do receptor GNSS Garmim Vista. Este alinhamento se deu com a finalidade de facilitar o posicionamento do *drone* sobre o povoamento de *Pinus* para que se efetuasse o mínimo possível de rotações em seu eixo Z, mantendo, desse modo, a orientação da faixa de voo.

Neste estudo o voo foi todo realizado por controle remoto e a condução foi somente visual.

4.4 Mensuração nas fotografias aéreas

Foi utilizada uma fotografia como unidade amostral, conforme proposta de Jorge (2003) para o monitoramento por aeromodelo, simplificando o processo fazendo uma amostragem da área. Essa metodologia consiste em uma grade de amostragem, sendo que cada quadrícula da grade consiste em uma fotografia que representa a área amostrada. No presente trabalho a metodologia foi adaptada de modo que se retirasse uma fotografia da faixa de voo, representando, assim, a área de estudo.

Na fotografia georreferenciada, a fim de se reduzir a área de maior distorção causada devido à projeção cônica da câmera, foi utilizada uma parcela que foi delimitada a partir da exclusão de 30% de cada lado da fotografia no sentido da faixa

de voo, metodologia adaptada de Rocha e Kurtz (2009) que propuseram o método do retângulo útil, referente à parte do aerofotograma onde as distorções das imagens são menores possíveis.

Além das proporções do retângulo útil, a parcela ficou delimitada ao sul pela estrada do acesso oeste da UFSM e ao norte com uma área preparada para o plantio de soja. Dessa forma a área da parcela foi de 1292,33m².

Primeiramente foi realizada uma contagem das copas das árvores presentes na parcela e estas foram marcadas na fotografia. Foram diferenciadas as copas que deixaram dúvidas quanto a pertencerem a uma mesma árvore ou ser outro indivíduo. Também foram diferenciadas as árvores que, na fotografia, não estavam completamente dentro do limite da parcela.

Procedeu-se, então, a medição das áreas das copas, descartando para essa etapa as copas das árvores duvidosas e as árvores consideradas de borda. As copas foram medidas a partir da vetorização destas na fotografia, de modo que ficassem delineadas separando-se de copas adjacentes e do solo, utilizando-se para tal um aplicativo de Sistemas de Informações Georreferenciadas (SIG).

4.5 Mensuração Florestal

Instalou-se a parcela na área de estudo com o auxílio de um navegador GNSS Garmim Etrex Vista, materializando os vértices definidos na fotografia e delimitando a parcela com trena.

Foram medidas as Circunferências à Altura do Peito (CAP), 1,3m do solo, de todas as árvores que tiveram suas copas mensuradas na fotografia, para tal utilizou-se trena.

4.6 Relação área de copa e área basal

Para fazer a análise de regressão e descrever a relação existente entre a área de copa e a área basal foram testados os seguintes modelos:

$$AC = b_0 + b_1 * g \quad (1)$$

$$AC = b_0 + b_1 * \ln g \quad (2)$$

$$\ln AC = b_0 + b_1 * \ln g \quad (3)$$

Onde: AC = área de copa; b_0 = coeficiente linear; b_1 = coeficiente angular; g = área basal; \ln = logaritmo neperiano.

4.7 Processamento dos dados

Os dados referentes ao *drone* foram armazenados no computador utilizando-se o programa *mdCockpit*.

O processamento da fotografia, georreferenciamento e vetorização foram todos realizados no aplicativo de SIG ArcGIS® 9.2 (licença do Colégio Politécnico da UFSM). Foi utilizado o sistema de projeção UTM Zona 22 Sul e *Datum* SIRGAS 2000.

A análise de regressão para o ajuste do modelo da relação da área de copa e área basal foi realizada utilizando-se o aplicativo estatístico R.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Voo não tripulado

No cartão SD do *drone* são gravados os dados de voo referentes às leituras dos sensores, que quando são transferidos para um computador, através do programa *mdCockpit*, permite visualizar informações sobre o voo.

Foi apresentado um relatório automático (Apêndice A) que permitiu a análise de parâmetros importantes e leituras dos sensores, em diferentes níveis de aviso: 1 - informando se apenas tal informação está disponível; 2 - se houve alguma situação crítica, erro ou o risco de algum erro iminente; 3 - se houve algum problema crítico que requer alguma investigação; 4 - se foi detectado um problema que fará com que o *drone* venha a falhar, sem a correção de tal problema o *drone* não voltará a voar; 5 - dados não consistentes.

O Voo 103, correspondente ao presente estudo, apresentou apenas algumas situações críticas como: possibilidade de baixa calibração do magnetômetro, velocidade máxima de ascensão (6,2m/s), estimativa da velocidade máxima do vento (5,3m/s), algumas perdas do sinal de rádio e algumas perdas no sinal de GNSS.

Foi registrado um tempo de operação do *drone* de 15 minutos e 21 segundos, tempo este que começa a ser contado a partir do acionamento dos motores. Foram obtidas 33 fotos no total e um mosaico não controlado da área pode ser visualizado no apêndice B. A faixa de voo utilizada para este estudo foi representada por 10 fotografias.

Foi registrada a altura máxima de 109,9m, velocidade máxima de 6,1m/s, distância máxima do ponto de decolagem de 194m e o comprimento estimado da rota foi de 1226,7m.

A altura média da faixa de voo para a obtenção das fotografias foi de 104,33m, proporcionando uma resolução espacial de 2,68cm. A escala da fotografia foi de aproximadamente 1:6.211, conforme a relação expressa na equação 4.

$$E = f / H_v \quad (4)$$

Onde: E = escala; f = distância focal calibrada; H_v = altura de voo.

A figura 4 apresenta a tela *Player* que possibilita refazer o voo de modo virtual, permitindo realizar uma análise posterior do comportamento do *drone* durante a execução do voo. As informações como tempo decorrido, altitude, velocidade, atitude, bússola, horizonte artificial, nível da carga da bateria, qualidade do sinal de rádio, rotações dos motores, velocidade e direção do vento e ângulos de atitude também podem ser visualizadas em tempo real.



Figura 4 – Tela *Player* do *mdCockpit*.

Onde: 1 = número do registro onde se encontra a simulação; 2 = tempo decorrido, em segundos; 3 = modo de navegação ativo; 4 = modo de funcionamento ativo; 5 = simulador do voo; 6 = número de série do *drone*; 7 = horas acumuladas de voo; 8 = estimativa do comprimento da rota; 9 = estatísticas do vento (direção e velocidade); 10 = altitude de voo; 11 = altitude máxima do voo; 12 = distancia corrente do ponto de partida; 13 = distancia máxima do ponto de partida; 14 = velocidade corrente; 15 = velocidade máxima atingida; 16 = ângulo *pitch*; 17 = bússola; 18 = horizonte artificial; 19 = velocímetro; 20 = ângulo *roll*; 21 = desempenho dos motores; 22 = carga da bateria; 23 = qualidade do sinal de rádio; 24 = comandos do controle remoto (posição dos *joysticks*); 25 = diretório de propriedades; 26 = lista de voos.

Uma das informações geradas e que são úteis para o processamento das fotografias é o relatório de atitude do *drone* associado a cada registro de gravação das mesmas. Neste relatório, que é exportado no formato texto (*.txt), são apresentados o número do voo, a data e a hora GMT (*Greenwich Meridian Time*). Os dados disponíveis são o número do registro da foto, a hora GNSS, o tempo decorrido a partir do momento em que os motores são ligados (nesse instante começa a gravação dos dados de voo), posição do *drone* no momento da obtenção da fotografia, altitude GNSS e altura de voo (estimada por barômetro), os ângulos de atitude do *drone* como *Roll* (rotação do eixo X), *Pitch* (rotação do eixo Y) e *Yaw* (rotação do eixo Z), e também os ângulos do servo da câmera. Estes parâmetros de atitude do *drone* serão usados caso seja feita a restituição fotogramétrica digital das fotografias.

Os dados foram importados no programa *Microsoft Excel*[®] e foi adicionada na planilha uma nova coluna referente ao número da fotografia obtida pela câmera associada ao seu respectivo registro (Apêndice C).

A figura 5 mostra a tela *Route* que permite a visualização da rota de voo em um ambiente tridimensional. Nesta tela são visualizadas as coordenadas e a altitude GNSS, a precisão do GNSS (*Accuracy*) e o número de satélites disponíveis (SV – *Satellite Vehicle*), a distância, a altura e o ângulo *Yaw* do *drone*, para um determinado instante de tempo do voo.



Figura 5 – Tela *Route* do *mdCockpit*.

Onde: 1 = latitude; 2 = longitude; 3 = altura GPS; 4 = precisão do GPS; 5 = número de satélites rastreados; 6 = rota em 3D; 7 = distância corrente do ponto de partida; 8 = orientação horizontal do *drone* (ângulo *yaw*); 9 = altura de voo.

A figura 6 mostra a tela *Map* na qual pode ser visualizada a rota de voo e esta podendo ser exportada para o aplicativo *Google Earth*, localizando a posição do vetor da rota de voo sobre a área onde este foi efetuado, identificando o ponto de decolagem (*Take off point*) e o ponto de aterrissagem que sinaliza o fim da rota (*End of route*) (Figura 7).

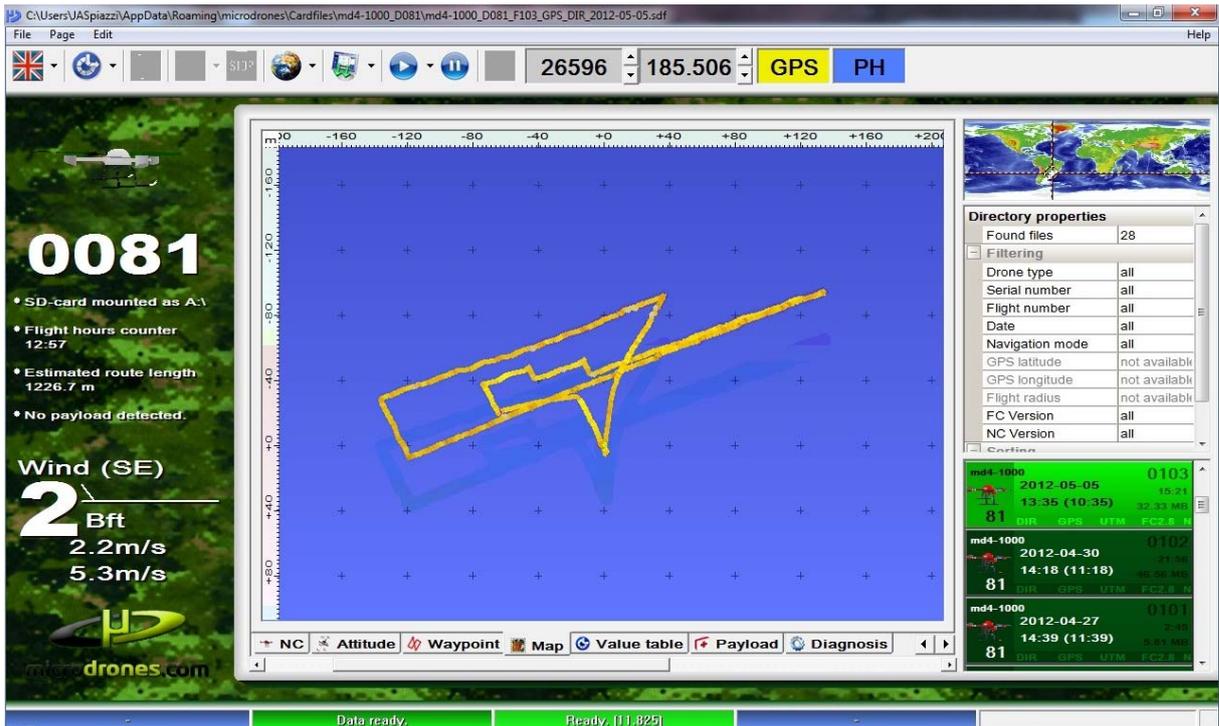


Figura 6 – Tela *Map* do *mdCockpit*.

Até a conclusão do presente trabalho as imagens que constam no *Google Earth* ainda datavam do ano de 2011, portanto, não representam a realidade atual da área sobre a qual foi realizado o voo.

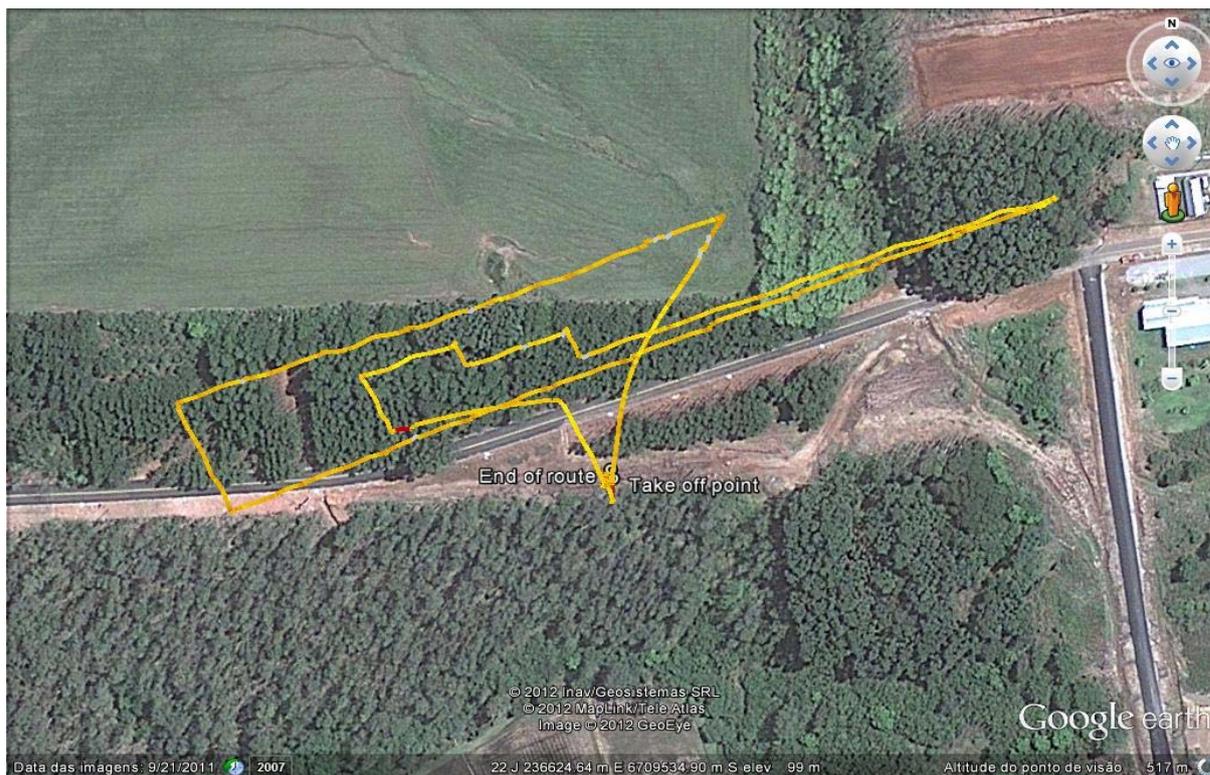


Figura 7 – Rota de voo projetada sobre imagem do *Google Earth*.

5.2 Mensuração na fotografia aérea e no campo

A figura 8 representa a fotografia utilizada como unidade amostral na forma em que foi obtida pela câmera, ou seja, sem ter sido realizado o georreferenciamento.

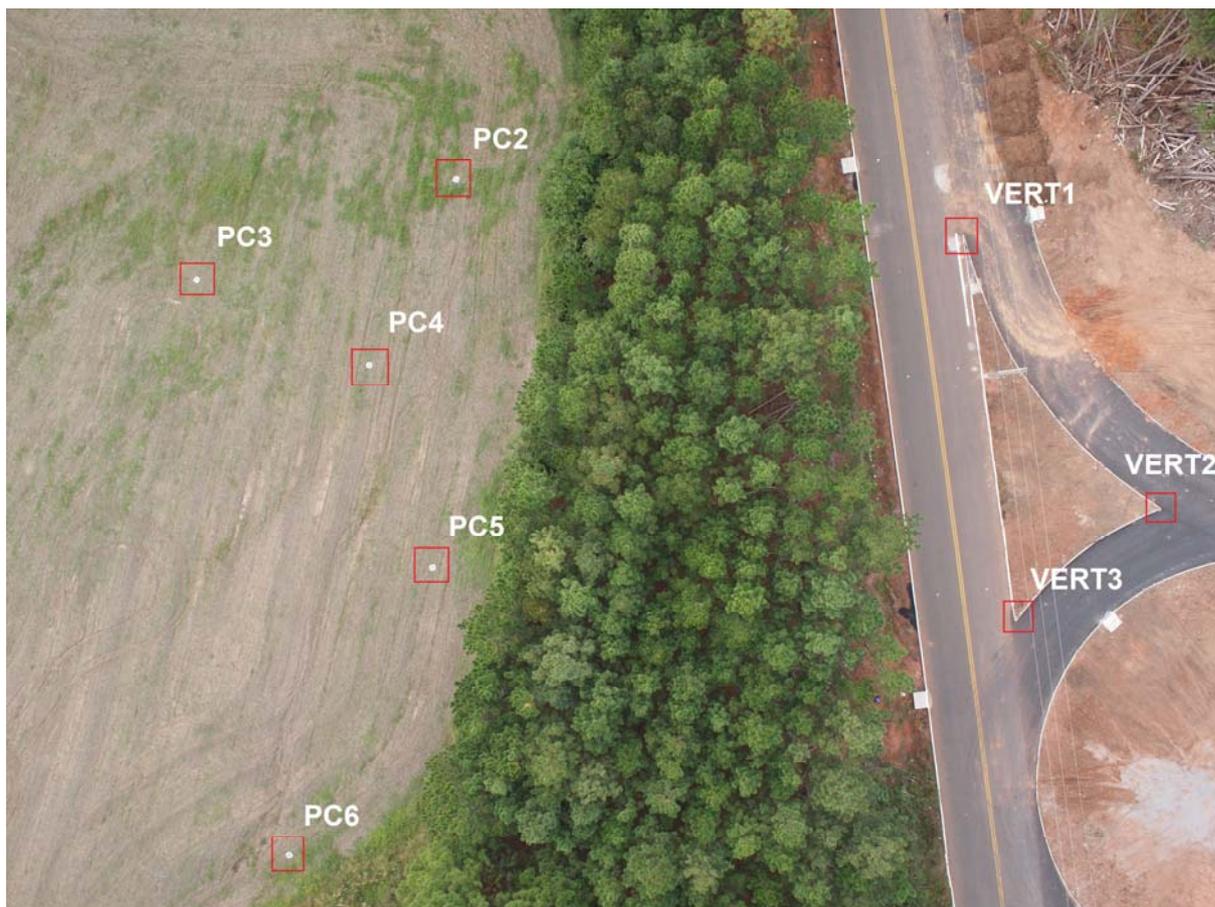


Figura 8 – Fotografia aérea utilizada como unidade amostral.

Onde: PC2, PC3, PC4, PC5 e PC6 = alvos distribuídos no solo para obtenção de coordenadas; VERT1, VERT2 e VERT3 = vértices dos canteiros do acesso oeste da UFSM usados para obtenção de coordenadas.

A fotografia foi georreferenciada utilizando-se 8 pontos de controle no solo (GCP – *Ground Control Points*, em inglês) que ficaram visíveis na fotografia. O erro (RMS) do georreferenciamento foi de 0,54519 pixels.

Na fotografia selecionada, após o georreferenciamento, foram contadas as árvores presentes na parcela (Figura 9).

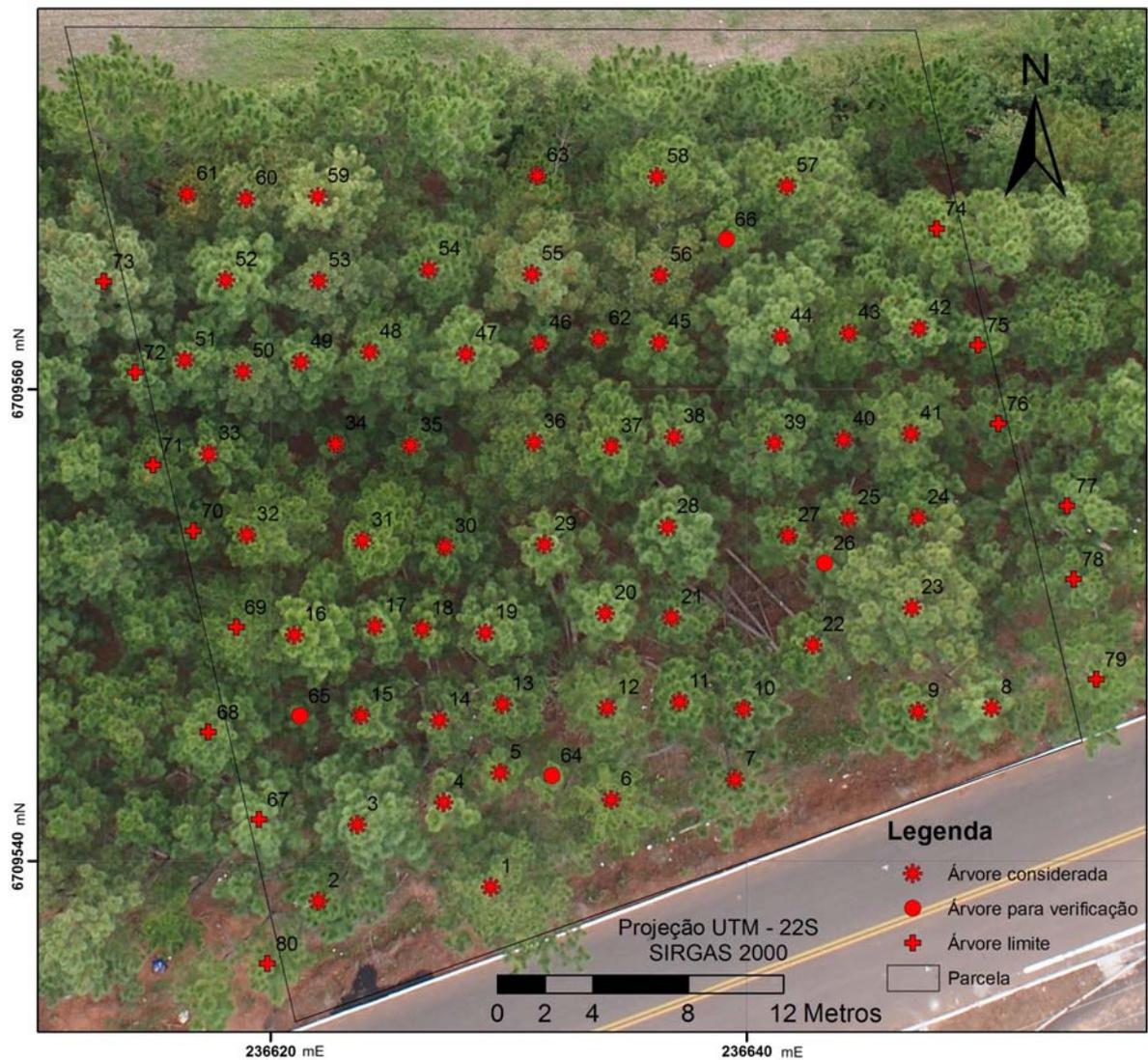


Figura 9 – Parcela de estudo.

Foram contadas 80 árvores na fotografia que foram separadas em três classes: “Árvore considerada”, são aquelas que foram contadas dentro da parcela, totalizaram 62 árvores; “Árvore para verificação”, são aquelas que ficaram para fazer a conferência a campo para ver se estas faziam parte da copa de uma árvore ou se era outra árvore, totalizaram 4 árvores; “Árvores limites”, são aquelas que necessitavam de verificação a campo para ver se estavam dentro do limite da parcela, totalizando 14 árvores.

O trabalho a campo constatou a existência de 89 árvores, entre estas estavam árvores abaixo do dossel e também árvores caídas. Somente as árvores que puderam ser visualizadas na fotografia tiveram o seu CAP medido.

Na classe “Árvore considerada”, 12 árvores foram consideradas de borda (árvores 1, 2, 6, 7, 8, 9, 57, 58, 59, 60, 61 e 63) e, dessa forma, foram excluídas da medição dos CAPs. Na classe “Árvore para verificação” as árvores 64 e 65 foram confirmadas a campo, enquanto que a árvore 26 constatou-se fazer parte da copa da árvore 23 e a árvore 66 não foi possível precisar a qual árvore pertence a copa visualizada na fotografia.

Procedeu-se a medição dos CAPs a campo e a vetorização das copas na fotografia, detalhe na figura 10, das árvores das classes “Árvore considerada” e “Árvore para verificação” com exceção das árvores de borda, totalizando, assim, 52 árvores.



Figura 10 – Detalhe das copas vetorizadas.

Na classe “Árvore limite” foram confirmadas como fazendo parte da parcela as árvores 67, 68, 69, 70, 71, 72, 74, 75, 78 e 80. As árvores 73, 76, 77 e 79 estavam fora da parcela delimitada a campo.

A figura 11 mostra o mapa com o resultado da vetorização das copas.

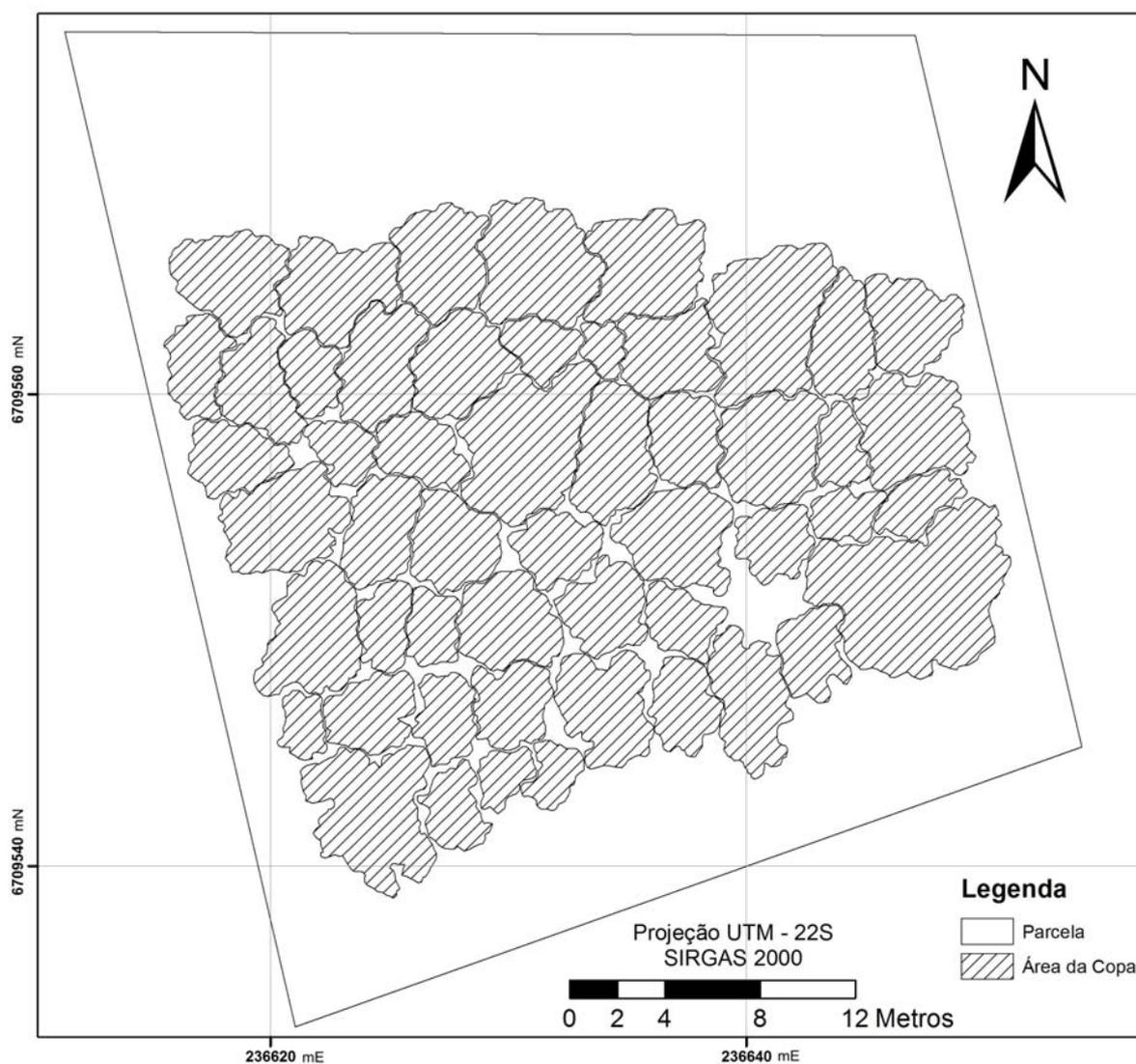


Figura 11 – Mapa das áreas das copas.

Apesar de ter sido um plantio homogêneo com o espaçamento controlado, percebeu-se que há grande variação nas áreas de copa, podendo levar a crer que não houve um manejo adequado do povoamento.

5.3 Relação área de copa e área basal

Os modelos utilizados para descrever a relação da área de copa e área basal, com seus correspondentes coeficientes, podem ser vistos na tabela 4. Para a análise de regressão foram utilizados 52 pares de dados (área de copa e área basal) que podem ser visualizados no apêndice D.

Tabela 4 – Modelos testados para descrever a relação da área de copa e área basal.

Modelo	b_0	b_1	r^2
1) $AC = b_0 + b_1 * g$	2,3870	219,9620	0,279
2) $AC = b_0 + b_1 * lng$	41,6840	9,2760	0,238
3) $lnAC = b_0 + b_1 * lng$	4,5631	0,6909	0,234

Onde: AC = área de copa (m^2); b_0 = coeficiente linear; b_1 = coeficiente angular; g = área basal (m^2); ln = logaritmo neperiano; r^2 = coeficiente de determinação ajustado.

Com base no coeficiente de determinação ajustado, o modelo que melhor descreveu a relação da área de copa e área basal foi o Modelo 1. A figura 12 mostra a reta do ajuste do modelo, $AC = 2,387 + 219,962 * g$, pode-se observar que as árvores que possuem maior valor de área basal não correspondem, necessariamente, com os maiores valores de área de copa.

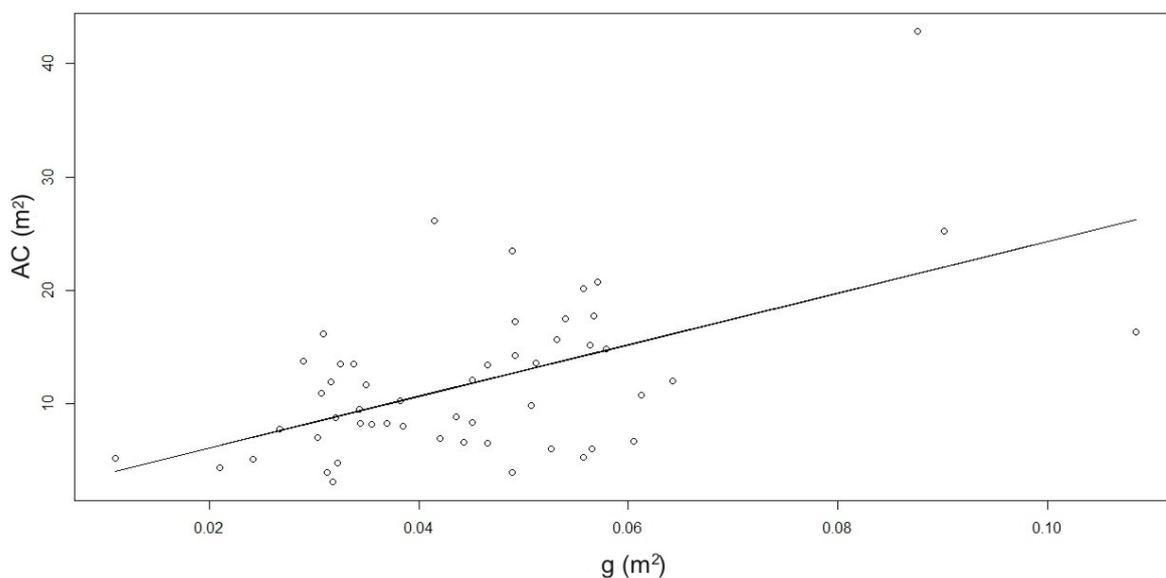


Figura 12 – Reta do ajuste do modelo de regressão.

Onde: AC = área de copa; g = área basal.

O baixo valor do coeficiente de determinação ajustado, $r^2 = 0,279$, pode ser devido ao fato de não haver homogeneidade no povoamento em estudo, que apresentou algumas árvores quebradas e falhas nas linhas de plantio, alterando, dessa forma, a densidade do povoamento que, conforme Schneider e Schneider (2008), afeta o crescimento diametral das árvores. Houve grande variação nos valores de área de copa e de área basal sendo que a área de copa apresentou um coeficiente de variação $CV = 56,51\%$ e a área basal apresentou $CV = 37,90\%$.

6 CONCLUSÃO

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

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

A obtenção de Fotografias Aéreas de Pequeno Formato de um povoamento de *Pinus taeda* L. possibilitou a mensuração das áreas das copas com grande detalhamento devido à alta resolução espacial proporcionada. Poderá ser feito um aprimoramento da metodologia utilizada para definir a área de menor distorção na fotografia.

O ajuste do modelo utilizado para descrever a relação entre a área de copa e a área basal demonstrou, pelo baixo valor do coeficiente de determinação ($r^2 = 0,279$), que não há uma grande relação entre esses dois parâmetros, o que pode ser explicado pela falta de homogeneidade do povoamento. É pertinente que se repita esse estudo em uma área que apresente um povoamento homogêneo e devidamente manejado para que esta relação entre a área de copa e a área basal possa ser descrita por um modelo de regressão.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, P. S. G.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMP, E. **Características, classificação e relação solo-superfície-material de origem dos solos do campus da UFSM.** 1997. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/ppgcs/congressos/XXVI_Congresso_Brasileiro/ARQ553.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2012.

BARBOSA, H. A.; ROANHORSE, A. S. **Mapeamento da cobertura vegetal por meio de aeronave não tripulada na estação experimental de Santa Rita em Arizona: estudo de caso.** In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. 2007, Florianópolis. **Anais...** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007, p.6323-6328.

CARTOGALICIA S. L. **mdCockpit: Manual de usuário.** [S.l.], 2010.

COLWELL, R. N. **Manual of Remote Sensing.** 2nd Ed. Falls Church: ASP & RS. 1983. 2440p.

CUNHA, R. M. P.; BULLA, L. A. S.; HARTMANN, C. Uso de imagens de pequeno formato como instrumental na elaboração e implantação de projetos costeiros: O Sistema ADAR 1000. **Gravel.** Porto Alegre. v.7, n.1, p.47-56. 2009.

DISPERATI, A. A.; OLIVEIRA FILHO, P. C.; BERNARDI, D. Aplicações na floresta com Araucária e em reflorestamentos. In: DISPERATI, A. A.; AMARAL, R. F.; SCHULER, C. A. B. **Fotografias aéreas de pequeno formato: aplicações ambientais.** Guarapuava: Unicentro. 2007. 262p.

DISPERATI, A. A.; AMARAL, R. F.; SCHULER, C. A. B. Introdução. . In: DISPERATI, A. A.; AMARAL, R. F.; SCHULER, C. A. B. **Fotografias aéreas de pequeno formato: aplicações ambientais.** Guarapuava: Unicentro. 2007b. 262p.

DISPERATI, A. A.; AMARAL, R. F. Câmaras de Pequeno Formato e a digitalização de fotografias. In: DISPERATI, A. A.; AMARAL, R. F.; SCHULER, C. A. B. **Fotografias aéreas de pequeno formato: aplicações ambientais.** Guarapuava: Unicentro. 2007c. 262p.

DURLO, M. A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. **Ciência Florestal.** Santa Maria. v.11, n.1, p.141-149. 2001.

EHLERS, M. Sensoriamento Remoto para usuários de SIG – Sistemas sensores e métodos: as exigências e a realidade. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados: novos sistemas sensores: métodos inovadores**. São Paulo: Oficina de Textos. 2005. 286p.

ENCIMAS, J. I.; SILVA, G. F.; TICCHETI, I. **Variáveis dendrométricas**. Brasília: Universidade Federal de Brasília. Departamento de Engenharia Florestal. Série Comunicações Técnicas Florestais v.4 n.1. 2002. 102p.

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

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução José Carlos Neves Epiphanyo (coordenador)... [et al.]. – São José dos Campos, SP: Parêntese, 2011. 2ed. 598p.

JORGE, L. A. C. **Metodologia para Utilização de Aeromodelos em Monitoramento Aéreo: Análise de Imagens**. Embrapa Instrumentação Agropecuária. São Carlos. Circular Técnica n.18. 2003. 11p.

LONGHITANO, G. A. **VANTs para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. 2007. 163f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das Gimnospermas**. 2ed. Santa Maria: Ed. UFSM. 2005. 161p.

MEDEIROS, F. A. **Desenvolvimento de um Veículo Aéreo Não Tripulado para aplicação em agricultura de precisão**. 2007. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MICRODRONES GMBH. **md4-1000**: Preliminary Users Manual. [S.l.], 2009.

MICRODRONES GMBH. **Bedienungsanleitung md4-1000**. [S.l.], 2011.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3ed. Viçosa: Ed. UFV, 2005. 320p.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42.

NUTTO, L. et al.; Utilização dos parâmetros da copa para avaliar o espaço vital em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. **Bol. Pesq. FI**. Colombo. n.42. p.123-138. Jan-jun. 2001.

PADOIN, V.; FINGER, C. A. G. Relações entre as dimensões da copa e a altura das árvores dominantes em povoamentos de *Pinus taeda* L. **Ciência Florestal**. Santa Maria. v.20, n.1, p.95-105. 2010.

PEGORARO, A. J.; PHILIPS, J. W. **Quadrirotor/Microdrone como Portadores de Geosensores aplicados ao Cadastro Territorial**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. 2011, Curitiba. **Anais...** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011, p.8461.

PELLICO NETO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. Curitiba: Editorado pelos autores, 1997. 316p.

ROCHA, J. S. M.; KURTZ, S. M. J. M. **Manual de Fotointerpretação**. 4ed. Rev. Ampl. Santa Maria: Imprensa Universitária, 2009. 642p.

SANQUETA, C. R. et al. **Inventários Florestais: Planejamento e Execução**. 2ed. Curitiba: Multi-Graphic Gráfica e Editora, 2009. 316p.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao Manejo Florestal**. 2ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. 566p.

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

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: Ed. UFV, 276p, 2006. 276 p.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; SANQUETA, C. R. Estimativa de biomassa e carbono em floresta com araucária utilizando imagens do satélite Ikonos II. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v.19, n.2, p.169-181. 2009.

APÊNDICES

Apêndice A – Relatório automático para análise de parâmetros importantes e leituras dos sensores.

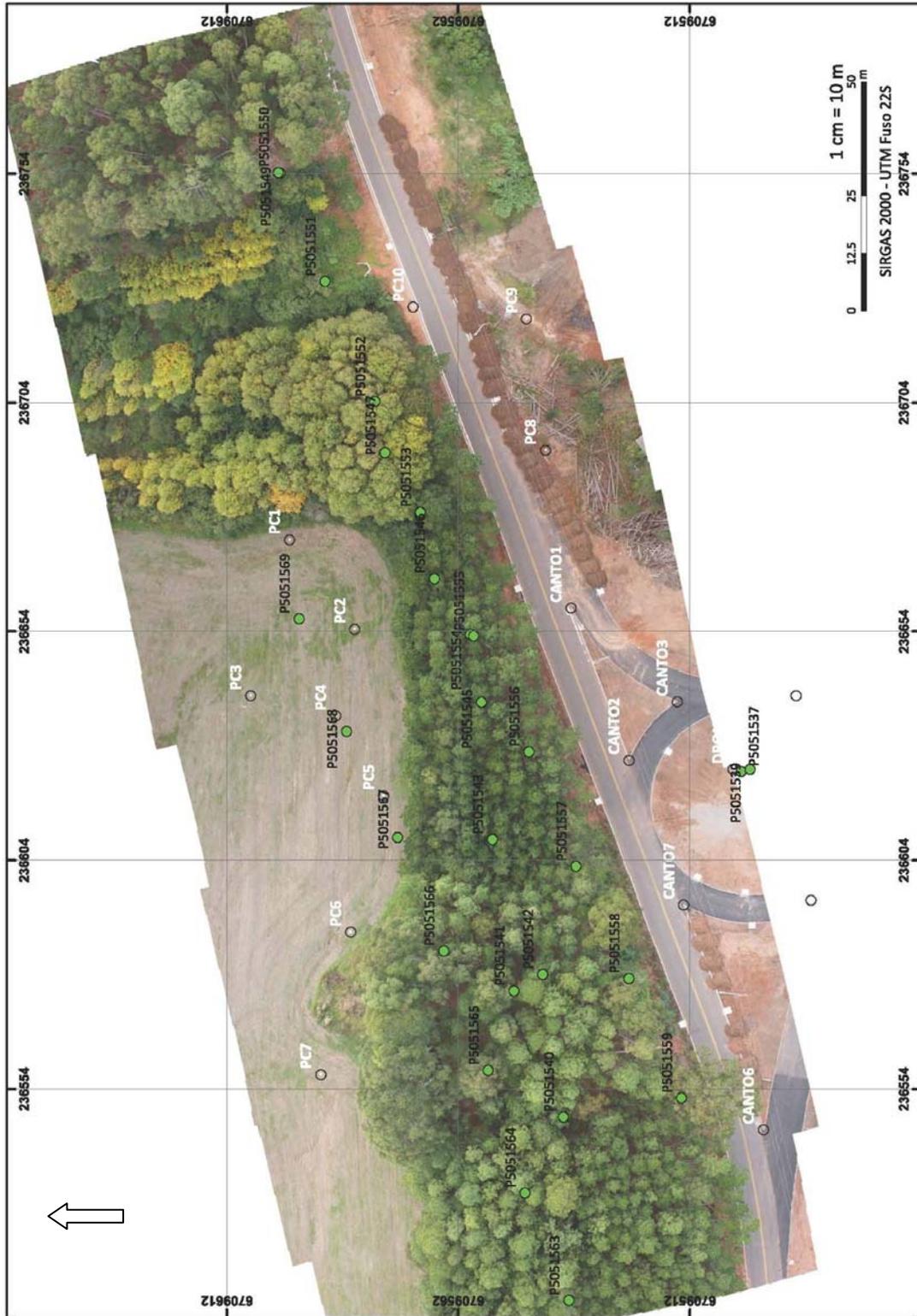
SD-card recording file analysis

Drone#0081 flight no. 103, 2012-05-05 - 13:35, 012:57 flight hours

- Critical problems
- Motor response analysis
- Battery analysis
- Calibration analysis
 - Reference field 22.7 μT , measured reference field 23.3 μT , difference 0.6 μT
 - Maximum difference to reference field 2.5 μT at time code 805.237
 - Difference range to reference field 2.8 μT
 - Magnetic field measure noise 0.22 μT
 - Magnetometer-analysis for the X-axis
 - Magnetometer-analysis for the Y-axis
 - Magnetometer-analysis for the Z-axis
 - Possible low quality magnetometer calibration scale factors found
- IMU analysis
- Attitude/altitude/speed analysis
 - Max. roll angle: -27.0° (OK) at time code 593.724
 - Max. pitch angle: +27.4° (OK) at time code 554.645
 - Maximum speed of 6.1m/s was reached at time code 774.542
 - Average speed of flight was 1.3m/s
 - Maximum altitude of 109.9 m was reached at time code 131.169
 - Maximum altitude climb speed of 6.2m/s was reached at time code 47.003
 - Maximum altitude descent speed of 4.3m/s was reached at time code 827.271
 - Maximum distance to drone was 194.9 m at time code 340.194
 - The total length of the flown route was around 1227 m
 - Estimated maximum wind speed was 5.3m/s at time code 811.433
 - Estimated wind speed average was 2.0m/s
 - No payload detected.
- RC analysis
 - Some RC signal errors found
 - Signal quality indicator, roll 96.7%
 - Average noise level 4.1%
 - Maximum noise level 4.0%
 - Noise quantity index was 1.8%
 - Signal quality indicator, pitch 97.4%
 - Average noise level 3.2%
 - Maximum noise level 4.0%
 - Noise quantity index was 1.8%
 - Signal quality indicator, yaw 98.6%
 - Average noise level 1.8%
 - Maximum noise level 2.0%
 - Noise quantity index was 0.8%
 - Signal quality indicator, throttle 99.5%
 - Average noise level 0.7%
 - Maximum noise level 2.0%
 - Noise quantity index was 0.6%
 - RC trimm analysis, roll +4.0%, pitch +3.0%, yaw +2.0%, throttle +1.0%
 - 14 by unfavorable reception angle caused reception errors have been found!
- GPS signal analysis
 - The flight area was between 99.8 and 214.5 m above sea level (GPS WGS-84).
 - 3660 valid GPS position measurements aquired.
 - GPS position accuracy average was 2.6 m (2.1...4.0)
 - The average GPS speed-accuracy was at 0.9 m/s (0.8 ... 1.5 m/s).
 - Average of reached GPS vehicles was 8.5
 - Some GPS signal losses were found
 - ECEF plausibility check error

Analysis | **Route** | **Player** | **Battery** | **Profiles** | **Motors** | **RC** | **GPS**

Apêndice B – Mosaico das fotografias obtidas a 104m de altura.



Fonte: Colaboração pessoal de João Henrique Quoos.

Apêndice C – Relatório de atitude do *drone*.

Foto Câmera	Flight #103 Photo	05/05/2012 GPS Time	13:35 Timecode	Latitude	Longitude	GPS- A.	Height	Roll	Pitch	Yaw	Pitch servo	Roll servo
P5051537	1	13:36:04	18.933	-29.71671797	-53.72253849	118.8	15.9	-6.2	1	66.6	41.9	45
P5051538	2	13:36:18	32.667	-29.71671768	-53.72253529	142.1	38	-0.5	2.6	68.9	41.9	45
P5051539	3	13:36:39	53.169	-29.71673638	-53.7225331	187.6	80.4	-2.2	-0.9	68.5	41.9	45
P5051540	4	13:38:20	154.918	-29.71635637	-53.72330758	214.3	104.4	-3.3	-1.5	68.7	41.9	45
P5051541	5	13:38:43	177.192	-29.71626606	-53.72302067	213.6	104.3	-2	-1.3	68.2	41.9	45
P5051542	6	13:38:59	193.68	-29.71632222	-53.72298544	211.7	104.5	-2.4	-0.2	67.7	41.9	45
P5051543	7	13:39:16	210.182	-29.71623066	-53.722678	208.7	104.5	-2.9	2.1	69.7	41.9	45
P5051544	8	13:39:45	239.185	-29.71629126	-53.72263924	208.8	104.5	-1.4	-0.9	68.4	41.9	45
P5051545	9	13:40:05	259.671	-29.71621608	-53.72236803	207.8	104.4	-1.6	0.1	68.6	41.9	45
P5051546	10	13:40:24	278.911	-29.71613004	-53.7220861	208.2	104.2	-2.8	1.1	67.2	41.9	45
P5051547	11	13:40:45	299.443	-29.71603991	-53.72180034	207.1	104.2	-3	0.5	68.3	41.9	45
P5051548	12	13:41:09	323.447	-29.71593906	-53.72147908	207.7	104.1	-3.1	0.6	69.3	41.9	45
P5051549	13	13:41:35	349.163	-29.71584756	-53.72116367	207.3	104.4	-3.8	0.9	68.8	41.9	45
P5051550	14	13:42:22	396.92	-29.71584477	-53.72116207	188.4	86.2	-3.4	0.1	68.6	41.9	45
P5051551	15	13:42:41	415.664	-29.71593062	-53.72141035	188.7	86.5	-3.8	1	67.7	41.9	45
P5051552	16	13:42:59	433.169	-29.71602163	-53.72168437	188.4	86.4	-2.2	0	67.7	41.9	45
P5051553	17	13:43:16	450.673	-29.71610565	-53.72193581	188.1	86.4	-0.7	2.2	69.2	41.9	45
P5051554	18	13:43:32	466.42	-29.7161984	-53.72221354	188.1	86.3	1.4	-0.1	69.2	41.9	45
P5051555	19	13:43:41	475.431	-29.71620426	-53.72221785	187.5	86.1	-0.2	-2.1	69.7	41.9	45
P5051556	20	13:43:59	493.681	-29.71630609	-53.72248181	188.4	86.2	-2.9	0.5	66.6	41.9	45
P5051557	21	13:44:17	511.916	-29.71639213	-53.72274291	188.3	86.2	-2	0.6	67.6	41.9	45
P5051558	22	13:44:34	528.926	-29.71649002	-53.72299903	188.6	86.2	-2.5	1.3	66.5	41.9	45
P5051559	23	13:44:53	547.661	-29.71658712	-53.72327139	188.7	86.3	-1.5	-0.3	68	41.9	45
P5051560	24	13:45:14	568.46	-29.71667316	-53.72353518	188.6	86.3	-2.5	-0.5	67.5	41.9	45
P5051561	25	13:45:34	588.673	-29.71675797	-53.72377135	188.9	86.4	1.5	-2	68.1	41.9	45
P5051562	26	13:45:54	608.423	-29.71643753	-53.72395314	188.5	86	-1.7	-1.9	67.8	41.9	45
P5051563	27	13:46:14	628.169	-29.71635833	-53.72372156	188.7	86.3	-2	0.4	68.1	41.9	45
P5051564	28	13:46:33	647.67	-29.71627837	-53.72347713	187.9	86.2	-1.3	-0.9	67.7	41.9	45
P5051565	29	13:46:52	666.169	-29.71621185	-53.72319919	188	86.1	-2.7	0.1	68.2	41.9	45
P5051566	30	13:47:10	684.691	-29.71613144	-53.72292743	187.7	86.2	-2.7	0.8	67.1	41.9	45
P5051567	31	13:47:41	715.168	-29.71604596	-53.72266895	187.6	86.1	-2.4	0.4	67.5	41.9	45
P5051568	32	13:48:01	735.67	-29.71595228	-53.72242591	188.1	86.3	-1.2	1.1	67.2	41.9	45
P5051569	33	13:48:23	757.426	-29.71586541	-53.72217019	187.2	86	-2.1	0.9	68.1	41.9	45

Onde: Foto Câmera = número do registro da foto na câmera; Photo = número do registro no cartão SD do *drone*; GPS Time = hora, no sistema GNSS, da gravação do registro no cartão SD; Timecode = tempo, em segundos, decorrido desde o funcionamento dos motores; Latitude = latitude Sul, em graus decimais; Longitude = longitude Oeste, em graus decimais; GPS-A = altitude, em metros, obtida pelo GPS; Height = Altura de voo, em metros, obtida pelo barômetro; Roll = ângulo de rotação sobre o eixo X, em graus; Pitch = ângulo de rotação sobre o eixo Y, em graus; Yaw = ângulo de rotação sobre o eixo Z, em graus; Pitch servo = ângulo de rotação sobre o eixo Y do servo da câmera, em graus; Roll servo = ângulo de rotação sobre o eixo X do servo da câmera, em graus.

Apêndice D – Dados de inventário e pares de dados utilizados na análise de regressão.

Inventario		Pares de dados (ajuste)		Inventario		Pares de dados (ajuste)	
ID_arvore	CAP (cm)	area_basal (m ²)	area_copa (m ²)	ID_arvore	CAP (cm)	area_basal (m ²)	area_copa (m ²)
3	78.4	0.0489	23.6323	34	37.3	0.0111	5.8015
4	81.3	0.0526	7.1607	35	63.5	0.0321	8.9489
5	51.4	0.021	4.3785	36	106.4	0.0901	26.3193
10	76.5	0.0466	14.8209	37	85.3	0.0579	15.4456
11	65.8	0.0344	9.0214	38	79.8	0.0507	10.3384
12	65.2	0.0338	15.0207	39	84.4	0.0567	17.4518
13	74	0.0436	9.6762	40	63.7	0.0323	5.9153
14	61.8	0.0304	7.729	41	78.6	0.0492	17.5466
15	65.7	0.0343	10.1388	42	75.3	0.0451	12.4801
16	62.3	0.0309	17.9911	43	87.7	0.0612	11.0649
17	87.2	0.0605	6.7813	44	72.2	0.0415	26.0989
18	84.3	0.0565	6.0446	45	66.3	0.035	12.5454
19	60.4	0.029	14.1765	46	83.7	0.0557	6.29
20	69.3	0.0382	10.8791	47	80.2	0.0512	13.9098
21	72.7	0.042	7.3622	48	63.9	0.0325	14.2377
22	68.2	0.037	8.8245	49	74.6	0.0443	6.8661
23	104.9	0.0876	42.657	50	62.1	0.0307	11.7582
24	76.5	0.0466	6.5077	51	75.3	0.0451	8.7347
25	55.1	0.0242	5.2528	52	84.1	0.0563	15.2449
27	57.9	0.0267	8.1369	53	116.7	0.1084	16.2943
28	81.8	0.0532	16.1972	54	78.6	0.0492	14.9588
29	66.8	0.0355	8.7563	55	84.7	0.0571	21.425
30	63	0.0316	12.3802	56	82.4	0.054	18.4607
31	89.8	0.0642	11.951	62	63.2	0.0318	3.3127
32	83.7	0.0557	18.0272	64	62.7	0.0313	4.704
33	69.6	0.0385	9.878	65	78.4	0.0489	4.3335

Onde: ID_arvore = número da árvore medida no campo; CAP = circunferência à altura do peito da árvore medida no campo; area_basal = área basal da árvore medida no campo; area_copa = área da copa da árvore medida na fotografia.