



GABRIEL DE SOUZA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE  
DO USO DE VANT PARA MAPEAMENTOS  
TOPOGRÁFICO E DE COBERTURA E USO DA TERRA**

PORTO ALEGRE, 2015

GABRIEL DE SOUZA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE  
DO USO DE VANT PARA MAPEAMENTOS  
TOPOGRÁFICO E DE COBERTURA E USO DA TERRA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como exigência parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Cartográfica.

Orientação:

Prof<sup>a</sup> Dra Andrea Lopes Iescheck

Prof<sup>a</sup> Dra Flávia Farina

PORTO ALEGRE, 2015

GABRIEL DE SOUZA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE  
DO USO DE VANT PARA MAPEAMENTOS  
TOPOGRÁFICO E DE COBERTURA E USO DA TERRA**

Trabalho de conclusão aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Cartográfica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul -UFRGS.

Aprovado pela banca examinadora em 18 de agosto de 2015.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof<sup>a</sup> Dra. Tatiana Silva da Silva  
UFRGS

Prof<sup>a</sup> Me. Patrícia Paiola Scalco  
UFRGS

Prof<sup>a</sup> Dra. Andrea Lopes Iescheck  
UFRGS

Prof<sup>a</sup> Dra. Flávia Farina  
UFRGS

Dedico este trabalho a minha família em especial ao Picotuxo e a minha mãe, Leila de Souza. E aos amigos que sem estes esta etapa não seria possível.  
Em especial:

Prof<sup>a</sup> Andrea Lopes Iescheck

Taciana Oliveira

Vanessa Amorim de Amorim

Mariana Koetz

Dona Maria Eva

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que colaboraram para que este trabalho fosse concluído de maneira intelectual e/ou prática. Em especial às minhas orientadoras, que além de orientadoras também foram colegas de trabalho. Ao Prof. Mario Luiz Lopes Reiss, pela execução do voo fotográfico. Ao Marcelo Pereira, por disponibilizar material de fixação dos alvos e os dados referentes ao levantamento das estações base. Ao Maurício Kenji Yamawaki por auxílio no processamento das imagens. Ao Eduardo Farina pela colaboração nas atividades de campo. E à UFRGS, ao Instituto de Geociências e ao Departamento de Geodésia.

Houve um tempo no Brasil que o destino de uma pessoa estava marcado por sua cor ou classe social. Hoje somos limitados apenas pelos nossos sonhos.

## RESUMO

O emprego de VANT (Veículo Aéreo não Tripulado) para aquisição de dados tem se ampliado consideravelmente, frente a outros tipos de levantamento devido à sua facilidade de manuseio, à economia de tempo e de custo e à elevada resolução espacial possível de ser obtida. Neste sentido o presente trabalho objetiva analisar a aplicabilidade desta tecnologia para fins de mapeamentos topográfico e de cobertura e uso da terra e a qualidade dos produtos gerados. Para tal, utilizou-se o VANT SIWNGLET CAM como um estudo de caso, abordado em cinco principais etapas metodológicas: concepção e elaboração de alvos artificiais para sinalização de campo; planejamento e execução de voos para obtenção das imagens aéreas; processamento dos dados; elaboração de mapas topográfico planialtimétrico e de cobertura e uso da terra e; execução de controle de qualidade. Nesta última etapa, realizou-se a avaliação da qualidade dos produtos gerados durante os procedimentos adotados bem como dos resultados finais. Desta maneira, foram avaliadas a qualidade da nuvem de pontos obtida no processo de aerotriangulação, a qualidade posicional do ortofotomosaico, das curvas de nível e da vetorização. Ainda, avaliou-se a aplicabilidade do método de interpretação visual empregado na elaboração do mapa de cobertura e uso da terra. Como resultados do controle de qualidade, o ortofotomosaico apresentou um erro posicional máximo de 0,1634 m para 90% dos pontos testados e um desvio padrão de 0,1143 m. Sendo, assim, obtiveram-se os produtos finais com classe A para escalas de 1/815 ou menores, de acordo com o PEC-DIGITAL.

Palavras-chave: VANT, Controle de Qualidade Cartográfica, Alvos Artificiais.

## **ABSTRACT**

The use of UAV (Unmanned Aerial Vehicle) for data acquisition is increasing when compared to other types of surveying due to its ease of handling, the time and cost saving, and due to the spatial resolution that can be obtained, particularly at a time where mapping demands are increasing. In addition to the mapping, this feature is also used in various fields of activity, like disasters control and soil monitoring. This study evaluates the use of UAV for topographic mapping and for land use and occupation mapping. In this work we used the UAV SIWNGLET CAM and evaluated this resource through flight planning and flight execution, and through the topographic map and the land cover and land use map. In addition, we evaluated the quality of the point cloud generated in the aerial triangulation, the positional quality of the orthophotomosaic, the contour lines, the vectorization and the applicability of the visual interpretation method. The results obtained in this quality control showed that the positional error of the orthophotomosaic was 0.1634 meters for 90% of the tested points with a standard deviation of 0.1143 meters. Thus we obtained a product class A for 1/815 or smaller scales according to the PEC-DIGITAL. In this work, we also developed artificial targets so that its center was well identified in aerial photographs.

Key words: UAV, Cartographic Quality Control, Artificial Targets.

## Lista de Figuras

Figura 1: Fluxograma para extração de atributos por meio da fotogrametria digital.....	18
Figura 2: Parâmetros de atitude de um sensor fotogramétrico embarcado em plataforma aérea.....	21
Figura 3: Condição de colinearidade.....	22
Figura 4: Sistema de coordenadas da imagem rotacionada para que seja paralela ao sistema de coordenadas objeto .....	22
Figura 5: Aeromodelo utilizado para mapeamento.....	30
Figura 6: Mapa de Localização - Estação Experimental Agronômica da UFRGS.....	39
Figura 7: Delimitação da área de estudo.....	40
Figura 8: Contraste de Cores Complementares.....	42
Figura 9: Contraste de Luminosidade.....	42
Figura 10: Simulação de alvos em papel.....	43
Figura 11: Fotografia dos alvos em papel obtida a uma distância de 50 metros.....	44
Figura 12: Alvo Circular Preto e Branco Classificado.....	44
Figura 13: Alvo em Lona PVC.....	45
Figura 14: Distribuição de Alvos na Área de Estudo.....	46
Figura 15: Interface Topcon Tools – Linhas Base.....	47
Figura 16: Interface Topcon Tools - Linhas Base POAL-Estação Agronômica.....	48
Figura 17: VANT Siwnglet Cam.....	49
Figura 18: Interface E-mo-tion - Plano de Voo da Área de Estudo.....	50
Figura 19: Nuvem de Pontos homólogos e 5 pontos de Controle.....	52
Figura 20: Vetorização a Partir dos Pontos de Ligação.....	54
Figura 21: Variação de textura e de resposta espectral da vegetação.....	57
Figura 22: Nuvem de Pontos do Terreno.....	59
Figura 23: Diferentes respostas espectrais dos alvos artificiais.....	61
Figura 24: Medição entre o ponto levantado com receptor GNSS e o centro do alvo artificial.....	62

## Lista de Quadros

Quadro 1: Característica das câmeras métricas e não métricas.....	20
Quadro 2: Classes PEC .....	25
Quadro 3: Classes PEC DIGITAL .....	26
Quadro 4: Exemplos de VANTs disponíveis no mercado e suas características.....	35
Quadro 5: Classes de cobertura e uso da terra definidas para a área de estudo.....	56
Quadro 6: Classes de cobertura e uso da terra e áreas ocupadas.....	66

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>1.1 Objetivos</b> .....	15
<b>1.2 Justificativa</b> .....	15
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	18
<b>2.1 Fotogrametria</b> .....	18
2.1.1 <i>Tipos de Câmeras</i> .....	19
2.1.2 <i>Orientação Interior e Orientação Exterior</i> .....	21
2.1.3 <i>Pontos de Controle e Posicionamento</i> .....	23
<b>2.2 Controle de Qualidade</b> .....	25
<b>2.3 Cartografia por Imagens obtidas com Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT)</b> .....	30
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	37
<b>3.1 Recursos empregados</b> .....	37
<b>3.2 Seleção e Caracterização da Área de estudo</b> .....	37
<b>3.3 Elaboração de Alvos Artificiais</b> .....	41
<b>3.4 Pré-sinalização</b> .....	45
<b>3.5 Planejamento e Execução do Voo</b> .....	48
<b>3.6 Processamento das Fotografias – Aerotriangulação</b> .....	50
<b>3.7 Vetorização</b> .....	54
<b>4. RESULTADOS E CONTROLE DE QUALIDADE</b> .....	60
<b>4.1 Levantamento com receptor GNSS</b> .....	60
<b>4.2 Aerotriangulação, Calibração de Câmeras e Alvos Artificiais</b> .....	60
<b>4.3 Ortofomosaico</b> .....	61
<b>4.4 Vetorização</b> .....	62
<b>4.5 Nuvem de Pontos e Curvas de Nível</b> .....	63
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	71
<b>5.1 Conclusões</b> .....	67
<b>5.2 Recomendações</b> .....	68
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	70
<b>APÊNDICE A: Monografia dos Marcos Geodésicos</b> .....	74

<b>APÊNDICE B: Resultados.....</b>	<b>76</b>
<b>APÊNDICE C: Figuras Adicionais .....</b>	<b>87</b>
<b>APÊNDICE D: Mapas Finais.....</b>	<b>91</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O mapeamento representa um importante subsídio a inúmeras atividades realizadas nos setores públicos e privado, na medida em que se constitui em documentos que permitem a identificação e a análise dos fenômenos que ocorrem na superfície terrestre. Atualmente, os produtos cartográficos são essenciais para o entendimento e a organização de atividades no território, tais como planejamento e locação de usos do solo, projetos de infraestrutura, cadastro urbano e rural, avaliação ambiental, entre outros.

Os métodos de mapeamento são diversos e aprimorados constantemente. Um dos métodos mais utilizados é o realizado por aerolevanteamento que tem por requisito a utilização de aeronaves e câmeras especializadas, pilotos, aeroportos, gerando assim, uma logística complexa e um alto custo financeiro. Quando realizados por métodos topográficos, além do custo, somam-se o tempo de trabalho, a restrição a pequenas áreas e as limitações de intervisibilidade e acessibilidade. Esses levantamentos são realizados ponto a ponto, com o auxílio de instrumentos específicos como teodolitos, trenas, entre outros.

Com o advento do Sensoriamento Remoto orbital, as imagens de satélite passaram a representar uma alternativa importante quanto aos métodos de mapeamento, em razão do menor custo e da atual elevada resolução espacial que tem permitido o mapeamento em escalas grandes. Porém, ainda são poucos os satélites que fornecem o recurso da estereoscopia e, quando disponível, o custo de aquisição das cenas eleva-se consideravelmente. Ainda, por se tratar de uma plataforma orbital, as imagens podem sofrer a interferência da atmosfera, o que é um entrave em regiões com elevada cobertura de nuvens em certos períodos do ano. Ademais, a resolução temporal é um fator limitante quando há necessidade de monitoramento de fenômenos que evoluem rapidamente, como inundações e deslizamentos de terra.

Diante da necessidade crescente de mapeamento e de algumas dificuldades encontradas, os VANT estão sendo empregados para suprir uma lacuna do setor. O uso do VANT na obtenção de dados espaciais vem crescendo em razão da sua facilidade de operação, baixo custo, economia de tempo e da alta resolução espacial

que pode variar de acordo com as necessidades do usuário. De maneira geral, o uso do VANT se limita em áreas consideradas reduzidas para serem mapeadas com o uso de aeronaves tradicionais, porém extensas demais para serem mapeadas por métodos topográficos.

A diversidade de plataformas disponíveis no mercado, a custos variados, expandiu o leque de aplicações para áreas da agricultura, silvicultura, mineração monitoramento ambiental e de fronteiras e para a cartografia em geral. A flexibilidade da resolução temporal e a rapidez para executar um voo têm estendido também a sua aplicação, em diversas regiões do mundo, ao monitoramento de desastres e localização de potenciais vítimas.

Ademais, sensores digitais têm sido desenvolvidos ou adaptados especialmente para VANT, nas faixas espectrais do visível e infravermelho, esta última sendo especialmente útil para o mapeamento da vegetação e de áreas impermeabilizadas. Mais recentemente, sensores multi e hiperespectrais, *laser scanner* e radares de abertura sintética, comumente usados apenas em aeronaves, estão sendo embarcados em VANT (WANG, 2009; BERNIE et al, 2009). Além do desenvolvimento e aprimoramento das plataformas e dos sensores, há também inovações e experimentação de procedimentos e técnicas de processamento digital das imagens e dos dados obtidos pelos sensores, visando maior agilidade e qualidade na obtenção dos dados (MUKHERJEE et al, 2009; ZHOU et al, 2009).

Este rápido desenvolvimento de equipamentos e de aplicações bem como a utilização recente desta tecnologia torna necessário avaliar cuidadosamente o emprego dos VANT nas diversas finalidades do mapeamento, principalmente no que tange as limitações do tipo de câmera embarcada. Normalmente são utilizadas câmeras de pequeno formato, isto é, não fotogramétricas, as quais não são especializadas para fins de fotogrametria. Em aplicações que exigem maior precisão é necessário estabelecer a confiabilidade do levantamento e a qualidade dos consequentes produtos gerados por suas imagens para que possam ser corretamente empregados.

## 1.1 Objetivos

Em vista do exposto, o presente trabalho tem por objetivo geral avaliar a qualidade dos produtos gerados a partir de imagens aéreas obtidas com o VANT SWINGLET CAM.

Os objetivos específicos estão assim definidos:

- Planejar e executar um voo com o VANT SWINGLET CAM.
- Elaborar mapas topográfico e de cobertura e uso da terra.
- Avaliar a qualidade dos produtos cartográficos gerados em termos de precisão altimétrica e planimétrica.
- Analisar a viabilidade das aplicações do VANT SWINGLET CAM para mapeamento topográfico e de cobertura e uso do solo.
- Contribuir para a realização de trabalhos futuros executados a partir de levantamentos com VANT.

## 1.2 Justificativa

O processo de mapeamento pode ser demorado e custoso do ponto de vista financeiro. Alguns produtos com cobertura de todo o território nacional são resultantes do trabalho de instituições públicas visando suprir as necessidades de sua própria gestão bem como atender a demandas da sociedade em geral. A Diretoria do Serviço Geográfico do Exército (DSG) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) são os principais executores do mapeamento sistemático brasileiro. Segundo Timbó (2001), mapas sistemáticos até a escala de 1:25.000, são considerados um pré-requisito para o desenvolvimento do país, e é visto como uma obrigação do governo provê-los e mantê-los atualizados para uso da comunidade. Ainda, o referido autor argumenta que a cobertura em escala 1:25.000 deveria mapear as regiões densamente urbanizadas e com desenvolvimento econômico social em franca aceleração. Porém, esta escala de mapeamento é quase inexistente ou desatualizada.

A existência e o grau de atualização do mapeamento são, historicamente, subsídios relevantes a muitos processos decisórios. As informações referentes ao mapeamento como o ano da última edição, a escala disponível, o órgão responsável

e os produtos existentes são básicas para o planejamento de diversos projetos internos de instituições governamentais. Além disso, outras atividades requerem dados recentes ou periodicamente atualizados, como o cadastro urbano.

A demanda crescente de mapeamento em todo o território nacional se dá, em parte, devido à aplicação de diversos instrumentos legais, nos níveis municipal, estadual e federal. As resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002) e o novo Código Florestal (BRASIL, 2012) delimitam áreas de preservação e regem a gestão adequada dos recursos naturais e, conseqüentemente, os processos de licenciamento ambiental por parte de cidadãos ou instituições que visam desenvolver atividades econômicas e sociais. Tais leis definem diretrizes do uso do solo que tornam necessário o mapeamento de áreas de preservação visando minimizar os impactos resultantes.

Outro exemplo é a obrigação da emissão do Certificado de Cadastro de Imóvel Rural (CCIR) para os imóveis localizados na zona rural. Trata-se de um documento emitido pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), que constitui a certificação do imóvel rural e de seus limites, indispensável para desmembrar, arrendar, hipotecar, vender ou prometer em venda o imóvel rural e para homologação de partilha (BRASIL, 1996; BRASIL, 2001).

Atualmente vigora a exigibilidade da realização do georreferenciamento para imóveis rurais acima de 250 hectares e, no ano de 2023 a exigência será estendida às propriedades de qualquer dimensão (BRASIL, 2001). Este fato configura um grande desafio tendo em vista que apenas 133.158 propriedades se encontravam cadastradas em 2014 de um total de 5.175.489 existentes (INCRA, 2014 apud DIAS, PETER e PEREIRA, 2014).

Diante das necessidades de mapeamento expostas, o VANT tem sido empregado como uma alternativa em face do menor custo do levantamento ou das limitações dos métodos tradicionais. Ademais, esta plataforma tem contribuído no apoio de atividades didáticas em cursos de graduação e de pesquisa e extensão na área de Sensoriamento Remoto.

Entretanto, há poucos estudos acadêmicos sobre o tema. De maneira geral, os métodos tradicionais de fotogrametria e de sensoriamento remoto são aplicados sobre levantamentos realizados com VANT, por vezes sem a devida avaliação da qualidade dos produtos gerados. Assim, o presente trabalho se torna relevante na

medida em que visa contribuir com a geração de resultados e com a análise de qualidade dos produtos elaborados com esta ferramenta.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Fotogrametria

A partir da fotogrametria podem-se obter tantos dados quantitativos (fotogrametria métrica), quanto qualitativos (fotointerpretação). Tommaselli (2009, p. 2), destaca os benefícios dos avanços tecnológicos em fotogrametria:

“... os métodos mais antigos de processamento dos dados fotogramétricos requeriam instrumentos analógicos, devido à inexistência de computadores com capacidade para realizar os cálculos necessários às várias etapas do projeto fotogramétrico; era a fotogrametria analógica. O advento de computadores cada vez mais baratos e potentes permitiu uma redução da participação instrumental no processo fotogramétrico, levando a um aumento na precisão e a uma sofisticação nos modelos matemáticos surgindo, assim, a fotogrametria analítica”.

Segundo Tommaselli (2009), com a maturidade da tecnologia de captura direta de imagens digitais e a capacidade dos computadores para aplicações gráficas, a fotogrametria digital suplantou as técnicas analógicas. Nos dias atuais nem mesmo a digitalização de fotografias se faz necessária, tendo em vista o uso de câmeras digitais na totalidade da tomada de fotos.

Utilizando-se múltiplas fotografias aéreas estereoscópicas podem ser extraídas informações quantitativas e qualitativas, tais como a localização precisa das feições, projeção horizontal de edificações, vias, hidrografia e linhas costeiras em uma projeção cartográfica padrão, além da altura precisa de objetos, modelos digitais de elevação (MDE), ortofotos, entre outras. As etapas para a geração de modelos digitais de elevação, ortofotos, imagens ortorretificadas e a extração de atributos temáticos de interesse a partir de fotogrametria digital é representado na Figura 1.

As fotografias aéreas devem ter regiões sobrepostas para a obtenção da estereoscopia. Segundo Linder (2003 *apud* JENSEN, 2009) para se obter a sobreposição estereoscópica deve-se calcular o intervalo entre as tomadas das fotografias aéreas de tal forma que a sobreposição entre as mesmas seja de aproximadamente 60%. Para Jensen (2009) essa sobreposição é muito importante porque fornece pelo menos duas e, em alguns casos três, visadas fotográficas de cada objeto do mundo real ao longo de uma linha de voo. Ainda, a maior parte dos levantamentos por fotografia aérea requer múltiplas linhas de voo para recobrir a

área de interesse. Quando isso ocorre, as linhas de voo se sobrepõem de 20 a 30%.

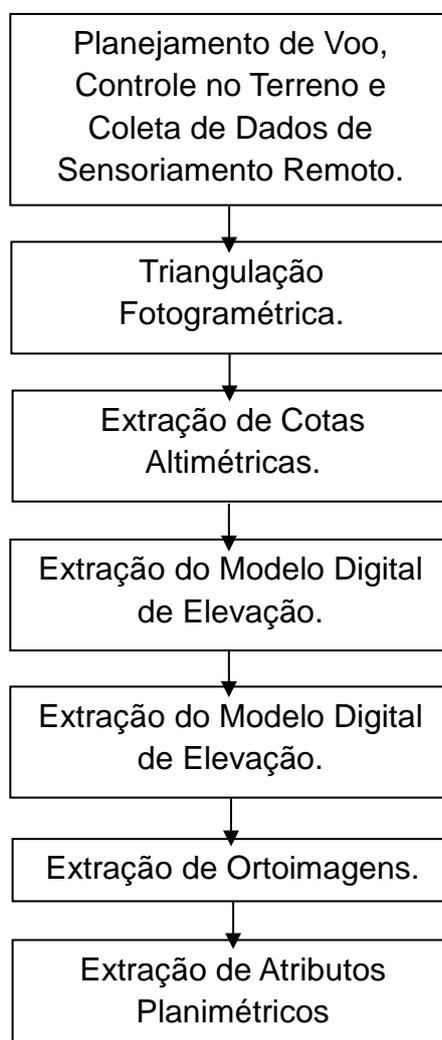


Figura 3: Fluxograma para extração de atributos por meio da fotogrametria digital. Fonte: Jensen, 2009 (Adaptado).

### 2.1.1 Tipos de Câmeras

Atualmente os processos envolvidos na aerofotogrametria são, na sua totalidade, digitais. Dentre estes processos, no que diz respeito à aquisição das fotografias, está praticamente abandonada a utilização da fotografia analógica cujo sistema óptico tem o filme como material sensível. As câmeras digitais utilizadas possuem um dispositivo eletrônico, geralmente empregado o *charge-coupled device* (CCD).

“Um sensor CCD nada mais é que um chip de metal semiconductor que, ao detectar a radiação, produz uma carga proporcional ao número de fótons recebidos. Cada chip tem dimensões de décimos de micrômetro e é feito de material sensível à radiação tal como o silício. Normalmente estes chips são montados em matrizes lineares ou bidimensionais.” (NOVO, 2008, p.71).

Normalmente sensores CCD são dotados de um filtro chamado filtro de Bayer, que separa a radiação recebida em vermelho, verde ou azul, então o valor do pixel é ajustado em função do inverso da distância de sua vizinhança (ENGINEERGUY, 2012).

Para a obtenção de medidas confiáveis, as câmaras fotogramétricas são dotadas de vários dispositivos adicionais, que não estão presentes nas câmaras convencionais. Estas câmaras convencionais são também denominadas câmaras não métricas, ou câmaras de amador, ou ainda, câmaras de pequeno formato. De maneira geral

“... as câmaras fotogramétricas podem ser destinadas à coleta de fotografias aéreas ou terrestres. As câmaras aéreas possuem requisitos altamente específicos, em relação às câmaras não métricas e, devido à sua aplicação em mapeamento, são frequentemente chamadas de câmaras cartográficas” (TOMMASELLI 2009, p. 85).

O Quadro1 apresenta um resumo das principais distinções entre as câmeras métricas e não métricas.

<b>Câmeras Métricas</b>	<b>Câmeras Não Métricas</b>
Elaborada e calibrada especificamente para medidas fotogramétricas.	Geralmente câmara manual e de alta qualidade.
Usualmente o foco é fixo.	Usualmente não apresenta foco fixo ou construído rigidamente.
Contém marcas fiduciais para permitir a recuperação dos elementos de orientação interna da câmera.	Marcas fiduciais não instaladas, mas podendo ser definidas posteriormente.
Frequentemente contém placa de vácuo para manter a planura do filme.	Disponibilidade comercial muito grande com vários tamanhos de câmeras e uso de diferentes filmes e lentes.
Disponibilidade comercial limitada.	Os métodos desenvolvidos recentemente para a calibração dessas câmaras tem permitido um aumento de uso para Fotogrametria de Curta Distância.

Quadro 2: Característica das câmeras métricas e não métricas. Fonte: Disperati,1991. (Adaptado).

### 2.1.2 Orientação Interior e Orientação Exterior

A orientação interior é o procedimento pelo qual as características geométricas de uma fotografia aérea são relacionadas matematicamente com as características geométricas (incluindo deformidades) do sistema da câmera que adquiriu a fotografia. Isto significa estabelecer a relação entre o sistema de coordenadas internas da câmera e o sistema de coordenadas do pixel da imagem (LINDER, 2003 apud JENSEN, 2009).

A extração de medidas úteis das fotografias aéreas requer a correção de certas distorções inerentes ao seu processo de aquisição. Além das distorções internas, é preciso conhecer a inclinação da aeronave no instante da tomada da foto. Há seis elementos de orientação exterior que expressam a localização espacial e a orientação angular de uma fotografia aérea inclinada no momento da exposição ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $\omega$ ,  $\phi$ ,  $\kappa$ ). As coordenadas tridimensionais da aeronave no momento da exposição são  $x, y, z$ , onde  $z$  expressa a altitude da câmera. No instante da exposição, a câmera apresentará arfagem, rolagem e deriva, expressas, respectivamente, por  $\omega$ ,  $\phi$ ,  $\kappa$  (Figura 2). A partir da determinação destes parâmetros para cada fotografia, pode-se então usar a informação para estabelecer a relação entre as coordenadas da imagem e as coordenadas do terreno.

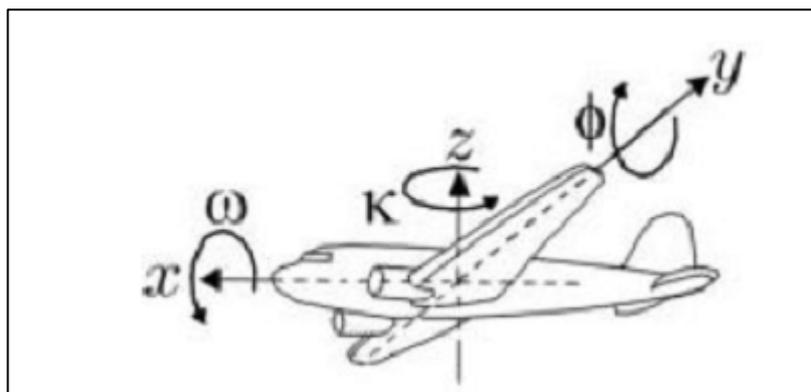


Figura 4: Parâmetros de atitude de um sensor fotogramétrico embarcado em plataforma aérea. Fonte: Coelho & Brito, 2007.

A aerotriangulação utiliza um ajuste geral por mínimos quadrados com restrição de pesos para orientar adequadamente todas as imagens em um bloco de fotografia aérea (JENSEN, 2009). Este ajuste é baseado no uso de equações de

colinearidade. A colinearidade é a condição na qual a posição de exposição da câmera (L), um objeto no solo (A) e sua correspondente imagem na foto (a) situam-se todos em uma linha reta no espaço tridimensional (WOLF & DEWITT 2000 apud JENSEN, 2009). Jensen complementa os referidos autores mencionando que a condição de colinearidade para qualquer ponto em um a fotografia aérea pode ser expressa por duas equações, uma para a coordenada x da foto e outra para a coordenada y da foto (Figuras 3 e 4).

Além disto, cada fotografia aérea sofre deformações em sua geometria, causadas, entre outros fatores, pelas distorções das lentes. O processo de correção é denominado orientação interior ou calibração da câmera. Dentre vários métodos de calibração de câmeras, destaca-se aquele realizado no mesmo processo de ajustamento que a aerotriangulação, oferecendo, assim, soluções mais completas. Também permitem que haja uma grande superabundância de observações o que torna possível um controle estatístico mais rigoroso. Este processo é denominado por Andrade (1998) como calibração de campo.

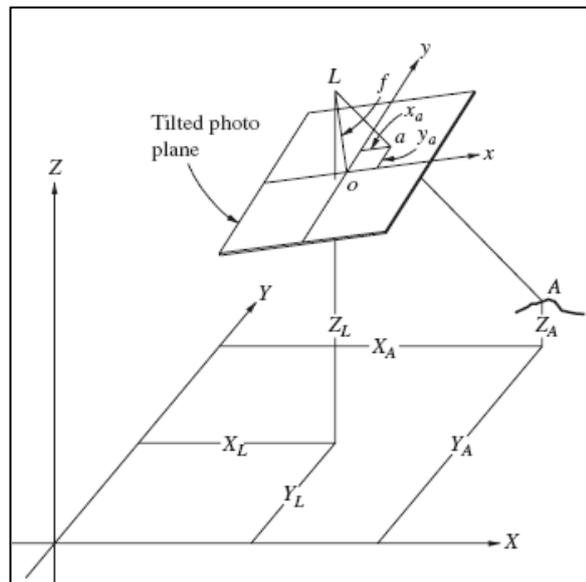


Figura 3: Condição de colinearidade. Fonte: Wolf & Dewitt, 2000.

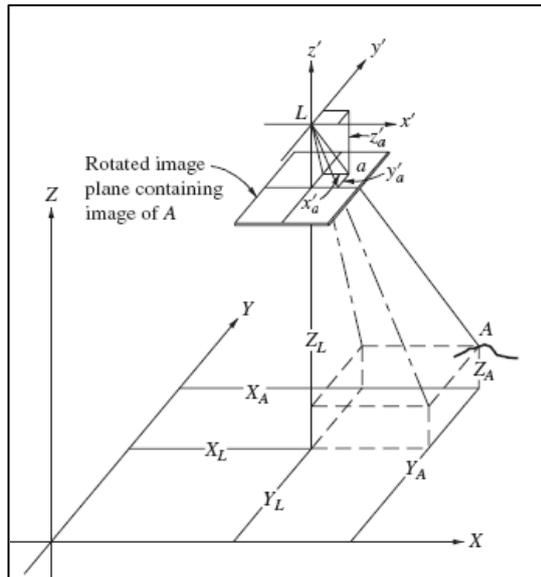


Figura 4: Sistema de coordenadas da imagem rotacionada para que seja paralela ao sistema de coordenadas objeto. Fonte: Wolf & Dewitt, 2000.

### 2.1.3 Pontos de Controle e Posicionamento

Segundo Wolf & Diwitt (2000 apud Jensen, 2009, p.179) todos os métodos desenvolvidos para determinar os seis parâmetros referidos anteriormente requerem pelo menos três pontos de controle no terreno, constituídos por qualquer objeto na imagem cujas coordenadas  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  no terreno no mundo real sejam conhecidas.

Os pontos de controle devem ser bem distribuídos na imagem de modo a formar um triângulo e não uma linha reta. Quanto mais pontos de controle verticais/horizontais puderem ser localizados melhor se dá o processo da aerotriangulação. A orientação exterior mais precisa ocorrerá nas áreas circundadas pelos pontos de controle artificiais (JENSEN, 2009). Lugnani (1987) afirma que a fototriangulação tem por objetivo gerar coordenadas precisas de pontos do espaço objeto, a partir de coordenadas medidas nas fotografias, devidamente tomadas ou em modelos estereoscópicos formados e, de um mínimo de informações do sensor. Se não houver estes pontos de controle, o sistema de referência do espaço objeto ficará indefinido, dando origem a problemas de deficiência de posto da matriz de coeficientes das equações normais.

A obtenção de pontos de controle tem sido facilitada pelo uso de sistemas globais de posicionamento por satélites (*Global Positioning Systems – GPS*).

Segundo McCoy, (2005 apud JENSEN, 2009), a disponibilidade da tecnologia de levantamento por GPS possibilita a coleta de pontos com precisão, em que o erro médio quadrático (*root mean squared error-RMSE*) das coordenadas X, Y, Z poderá ser inferior a 3 cm quando os dados são submetidos a correção diferencial.

O GNSS é frequentemente usado para calcular a posição horizontal, porém a posição vertical derivada deste refere-se ao elipsoide, e não ao geóide ou ao nível médio do mar. Portanto, para relacionar a altitude do GNSS (altitude geométrica) à altitude convencional (altura ortométrica), um modelo geoidal é necessário (Wolf & Dewitt, 2000 apud Jensen, 2009). Para Monico (2007) o posicionamento de objetos é a atribuição de coordenadas, constituindo-se em uma tarefa relativamente simples na atualidade, porém este foi um dos primeiros problemas científicos que o homem procurou solucionar. A mais recente solução iniciou na década de 1970, nos Estados Unidos, com a proposta do NAVSTAR-GPS que revolucionou praticamente todas as atividades que dependiam da determinação de posições. Em paralelo e de forma independente, na antiga União Soviética, foi desenvolvido um sistema muito similar, denominado *Global Orbiting Navigation Satellite System* (GLONASS).

De forma geral, esses sistemas têm sido chamados de *Global Navigation Satellite System* - Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS). O GPS é um sistema de radionavegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos e, em razão da alta acurácia proporcionada pelo sistema e do grande desenvolvimento da tecnologia envolvida nos receptores, uma grande comunidade emergiu dos mais variados segmentos da comunidade civil (navegação, posicionamento geodésico, agricultura, controle de frotas). Já o GLONASS foi concebido para proporcionar posicionamento 3D e, assim como o GPS, é um sistema concebido para o uso militar, porém houveram várias declarações do governo russo oferecendo o sistema para o uso civil. A precisão instantânea proporcionada pelo GLONASS, em um serviço similar ao posicionamento simples do GPS, é da ordem de 60 a 75 metros, com 99,7% de probabilidade, para componentes horizontais e verticais, respectivamente (MONICO, 2007).

O IBGE (2008) divide os receptores em três categorias principais: navegação, topográfico e geodésico. Os primeiros são destinados à navegação terrestre, marítima e aérea, bem como à levantamentos com precisão de ordem métrica. Na maioria dos casos, as observações utilizadas são as pseudodistâncias derivadas do

código C/A, embora alguns programas permitam extrair as observações de pseudodistância e da fase da onda portadora para posterior processamento.

Já os receptores topográficos podem tornar o posicionamento preciso quando utilizados em conjunto com um ou mais receptores, localizados em estações de referência, mas sua utilização é restrita a uma área compreendida dentro de um círculo com raio aproximado de 10 km, sendo normalmente utilizado na topografia. Estes receptores são capazes de rastrear a fase da onda portadora L1 e o código C/A.

Por outro lado, os receptores geodésicos são capazes de rastrear a fase da onda portadora nas duas frequências. Isso possibilita a sua utilização em linhas de base maiores que 10 km, pois é possível modelar a maior parte da refração ionosférica a partir do uso da combinação linear livre da ionosfera (*ion free*) durante o processamento dos dados. Normalmente estes receptores são utilizados na geodésia.

Um dos métodos de posicionamento com GNSS é o posicionamento relativo. Segundo Monico (2007), para realizar este método o usuário deve dispor de dois ou mais receptores ou um receptor ajustado a estações de rastreamento contínuo. No caso do Brasil, tem-se a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), além de outras estações contínuas. Assim, a informação da estação contínua será introduzida na solução do usuário via coordenadas das estações usadas como referência. Quando se formam as equações de observação das simples diferenças, o erro do relógio do satélite é eliminado, pois se assume que os sinais recebidos nas duas estações foram emitidos simultaneamente.

## **2.2 Controle de Qualidade**

A qualidade é uma das questões de maior dificuldade na avaliação de produtos cartográficos, pois depende do conhecimento da qualidade das informações manipuladas em cada fase do processo cartográfico e envolve um conjunto de parâmetros de natureza quantitativa e qualitativa. Dentre os parâmetros a serem considerados podem-se citar: qualidade posicional, qualidade gráfica, completude, consistência lógica, qualidade semântica, atualidade, dentre outros.

Junior (2009) ressalta que na medida em que a tecnologia utilizada nos procedimentos de mapeamento se desenvolve rapidamente, também aumenta o número de usuários não especialistas em mapeamento. O despreparo, por vezes, de tais usuários pode resultar em despreocupação com a qualidade geométrica ou mesmo pode-se simplesmente considerar que o produto utilizado é "geometricamente adequado".

Existem diversos parâmetros de qualidade. Utiliza-se o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), estabelecido através do DECRETO Nº 89.817 de 1984 que define normas aos serviços cartográficos e às atividades correlatas. O artigo 9º subdivide as cartas cartográficas segundo sua exatidão e as classifica em três categorias, segundo os critérios apresentados Quadro 2.

<b>Classe</b>	<b>Precisão Planimétrica</b>	<b>Precisão Altimétrica</b>
A	0,5 mm, na escala da carta, sendo de 0,3 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente.	Metade da equidistância entre as curvas-de-nível, sendo de um terço desta equidistância o Erro-Padrão correspondente.
B	0,8 mm na escala, da carta, sendo de 0,5 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente	Três quintos da equidistância entre as curvas-de-nível, sendo de dois quintos o Erro-Padrão correspondente.
C	1,0 mm na escala da carta, sendo de 0,6 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente.	Três quartos da equidistância entre as curvas-de-nível, sendo de metade desta equidistância o Erro-Padrão correspondente.

Quadro 3: Classes PEC. Fonte: Brasil (1984)

Os avanços tecnológicos permitem obter produtos cartográficos com acurácias superiores às especificadas pela PEC. A DSG vem propondo uma nova classificação, pois "Os atuais recursos tecnológicos e metodologias empregadas na produção cartográfica em meio digital sinalizam para a necessidade de ser efetuada uma análise para definir novos padrões para a aceitabilidade da qualidade dos produtos cartográficos digitais, quanto à sua acurácia e precisão." (DSG, 2008, cap. V p.2)

Este novo padrão é denominado pela DSG como Padrão de Acurácia e Precisão de Produtos Cartográficos Digitais (PAP-PCD) ou, simplesmente, PEC-Digital. Em seus estudos, esta instituição concluiu que a geometria pode ser adquirida com valores de precisão e acurácia 50% maiores que o previsto para produtos analógicos no PEC padrão A. O Quadro 3 apresenta os valores para o

PAP-PCD, com uma classe a mais do que a legislação vigente.

PEC	PAD-PCD	1/2500		1/5000		1/10000		1/25000	
		EM(m)	DP(m)	EM(m)	DP(m)	EM(m)	DP(m)	EM(m)	DP(m)
	A	6,25	3,75	12,5	7,5	25	15	62,5	37,5
A	B	12,5	7,5	25	15	50	30	125	75
B	C	20	12,5	40	25	80	50	200	125
C	D	25	20	50	40	100	60	250	200

Quadro 4: Classes PEC –DIGITAL. Onde EM (erro máximo) e DP (desvio padrão). Fonte: DSG (2008)

A Lei nº10.267 de 2001 (artigo 176, parágrafo 3º) estabelece que, nos casos de desmembramento, parcelamento ou remembramento de imóveis rurais, a identificação do imóvel será obtida a partir de memorial descritivo, assinado por profissional habilitado e com a devida Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), contendo as coordenadas dos vértices definidores dos limites dos imóveis rurais, georreferenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro. Ainda, no mesmo parágrafo, delega ao INCRA a precisão posicional a ser fixada. O INCRA (2013), então estabelece os seguintes limites de classe de acordo com os níveis de acurácia:

- Para vértices situados em limites artificiais: melhor ou igual a 0,50 m;
- Para vértices situados em limites naturais: melhor ou igual a 3,00 m e;
- Para vértices situados em limites inacessíveis: melhor ou igual a 7,50 m.

Júnior (2003) propôs uma metodologia a ser adotada em trabalhos referentes ao controle de qualidade, tendo em mente a realidade atual, ou seja, a cartografia digital substituindo a analógica. O autor sugere algumas etapas para controle posicional, descritas a seguir.

- Determinação do tamanho da amostra levando-se em conta a finalidade do produto cartográfico, custo, tempo disponível para a execução de coleta de dados em campo, entre outros.
- Seleção dos pontos de controles através de feições bem definidas e bem distribuídas na região mapeada.
- Determinação da fonte de coordenadas de referência (cartas em escalas maiores, GPS, etc.) considerando que esta deve possuir precisão de 1/3 da precisão esperada.

- Coleta de campo, observando se o equipamento utilizado atende a precisão requerida na etapa anterior.

- Aplicação de testes para análise de tendência e precisão.
- Classificação do produto, enquadrando-o em uma das classes estabelecidas pelo PEC contido no Decreto Lei nº 89.817.

O referido autor também propôs uma metodologia para análise qualitativa dos produtos cartográficos digitais, considerando o controle de qualidade da linhaagem, a fidelidade de atributos, a completeza, a consistência lógica, a fidelidade à semântica e a temporalidade. Para esta análise, o autor recomenda as seguintes etapas:

- Transformação dos arquivos em arquivo único composto por níveis de informações específicos, caso os elementos analisados estejam separados em vários arquivos.

- Criação de uma malha em cada nível de informação para assinalar eventuais problemas constatados.

- Análise da linhaagem, pois os demais componentes da qualidade dos dados são afetados pelo conteúdo da linhaagem e vice-versa.

- Avaliação da completeza dos produtos, para que se considerem somente informações necessárias, as quais são definidas em função da finalidade da base cartográfica.

- Verificação dos valores dos atributos das feições de interesse considerando a finalidade do produto.

- Escolha do nível de informação referente à feição a ser avaliada.

- Inspeção dos demais níveis de informações ativos.

- Verificação da existência de linhas com valores de atributo cor diferentes daquelas especificadas para a feição avaliada. Caso constatado algum problema, o mesmo deve ser assinalado para posterior correção.

- Verificação da consistência com o auxílio de *softwares* capazes de executarem essa tarefa em cada nível de informação, individualmente.

- Análise da fidelidade à semântica com a verificação visual de todos os níveis de informação simultaneamente, pois só se detectará a existência de problemas nesse item quando da análise conjunta dos mesmos.

- Análise da temporalidade por meio da seleção de elementos que exigem diferentes intervalos de tempo para sua inspeção, como por exemplo, níveis de informações referentes às edificações que variam rapidamente com o tempo.

Em sua conclusão, Júnior (2003) analisou de cartas do município de Paulina (SP), em escalas 1:2.000 e 1:10.000. A primeira obteve classificação “B”, de acordo com o PEC, para a componente planimétrica e, classe “C” para a componente altimétrica, portanto, a carta deve ser enquadrada como classe “C”. Já com relação a carta na escala 1:10.000, o autor concluiu que esta deve ser enquadrada na classe “A”, tanto para a componente planimétrica como para a altimétrica.

Rocha (2002) desenvolveu uma proposta de normatização dos padrões para avaliação da exatidão posicional de cartas digitais com aplicações urbanas. Entre seus objetivos específicos, definiu uma formulação para o tamanho da amostra necessário a uma perfeita avaliação de mapas urbanos municipais. Para a definição do tamanho amostral de pontos de controle, o referido autor adaptou a fórmula apresentada por Pereira (1978), descrita na Equação 1.

$$\frac{Z^2 y^2 N}{(N-1)e^2 + Z^2 y^2} \tag{1}$$

Onde

n = tamanho amostral

Z = intervalo de confiança

N = tamanho da população

$$y = \frac{\text{Desvio Padrão}}{\text{Média Amostral}}$$

$$e = \frac{\text{Erro Amostral}}{\text{Média Amostral}}$$

Entre suas conclusões, Rocha (2002, p.95) definiu que:

“... o PEC – Padrão de Exatidão Cartográfica definido na legislação cartográfica é inadequado para a avaliação de cartas digitais, devendo ser utilizados outros padrões de avaliação da exatidão posicional.... As cartas digitais urbanas devem ser construídas de forma a atender os padrões de qualidade estabelecidos pelos usuários, pois são estes que absorverão as informações registradas nestes documentos cartográficos.”

Patrocínio (2002) analisou a distribuição espacial dos pontos de controle na imagem do modelo matemático utilizado na correção de imagens do sensor CCD do satélite CBERS, visando determinar uma quantidade ótima de pontos de controle para estabelecer um padrão de qualidade cartográfica para a imagem. O autor corrigiu a geometria da imagem utilizando 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 e 50 pontos de controle. A partir das informações obtidas por estes grupos de pontos de controle, uma análise estatística foi aplicada, comparando-se as médias do erro médio quadrático para todos os grupos, de modo a verificar o resultado em função do tamanho de amostra calculada para a determinação da quantidade de pontos de controle, garantindo assim, uma correção geométrica adequada para as imagens do satélite CBERS-I.

Após uma série de tratamentos estatísticos, o autor concluiu que a partir de 35 pontos de apoio o erro médio quadrático tem um decréscimo significativo e a partir de 40 pontos há uma convergência deste valor, tornando o aumento da acurácia insignificante para quantidades maiores de pontos de controle. Este valor foi comparado com a Equação 1, obtendo-se um valor de  $n = 40$ .

### **2.3 Cartografia por Imagens obtidas com Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT)**

Apesar da crescente ampliação do uso de VANT para a aquisição de dados geográficos nas áreas civil e militar, o emprego desta plataforma para obtenção de fotografias aéreas de pequeno formato não é recente. Disperati (1991) descreve diversas circunstâncias de seu emprego anterior e iniciativas de desenvolvimento de equipamentos que podem ser considerados os precursores dos atuais VANT (Figura 5). O referido autor relata o trabalho de Bukolt que, em 1969, utilizou um avião rádio controlado para obter informações aéreas com a finalidade de construção de uma maquete do *campus* da Universidade Americana de Wisconsin. Tomlins & Lee, em 1983, também utilizaram um avião rádio controlado, objetivando a execução de missões fotográficas visando avaliar de danos florestais.

A grande diferença hoje em dia está no fato de que os VANT não são mais meros aeromodelos operados por controle remoto. A crescente utilização de receptores GPS após a desativação do código SA e os avanços tecnológicos das

últimas décadas possibilitaram que os VANT tenham maior autonomia de voo, percorrendo, automaticamente, faixas fotogramétricas previamente programadas e calculadas no plano de voo, além do controle e estabilidade da altitude.

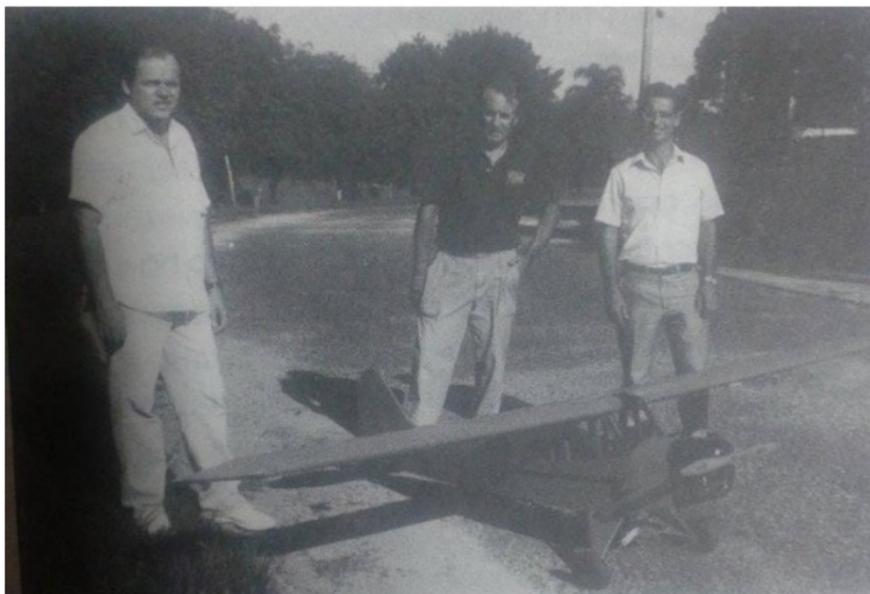


Figura 5: Aeromodelo utilizado para mapeamento. Fonte: Disperati,1991.

Alguns dos benefícios diretos do emprego de plataformas não tripuladas estão centrados no menor custo de operação e de manutenção do equipamento; na flexibilidade da resolução temporal, já que pode ser acionado a qualquer momento sem a necessidade de pistas de decolagem e; na altíssima resolução espacial das imagens para a produção de mapas mais precisos em termos de identificação e localização de fenômenos. Longhitano (2010) ressalta que estas características elevam o potencial de aplicação de sensoriamento remoto por VANT voltado para a detecção, monitoramento, caracterização e mapeamento de eventos, processos e alterações de rápido desenvolvimento.

Longhitano (2010) realizou uma pesquisa visando caracterizar os principais projetos de sensoriamento remoto por VANTs existentes e em desenvolvimento para subsidiar o seu uso como apoio em ações de avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes envolvendo transportes de cargas perigosas em rodovias. Neste sentido, o autor afirma que “A avaliação de impactos por imagens de sensores remotos pode ser vantajosa quando comparada por métodos de avaliação em solo, pois permite obter informações de áreas impactadas

sem a necessidade da presença humana nos locais de acidente, uma vez que na maioria das vezes pode haver riscos à saúde humana de acordo com a situação. (LONGHITANO, 2010, p.57). Ainda, conclui que atualmente as plataformas VANTs e sensores passíveis de serem transportados por elas são aplicáveis e podem servir adequadamente de tecnologia para sensoriamento remoto, com foco para o uso em monitoramento de impactos.

Roberto (2013) propôs uma metodologia de extração de informações geográficas a partir de fotografias aéreas obtidas com VANT em contribuição para a gestão municipal de Malanje, Angola. A metodologia elaborada visou o georreferenciamento das imagens obtidas de forma automática, baseada nos dados dos sensores, de GPS e de pontos de controle e analisar a qualidade posicional e geométrica das imagens. Além disso, o trabalho avaliou a precisão e a resolução dos produtos fotogramétricos (MDE e Ortofoto) obtidos com e sem pontos de controle e atualizou os produtos cartográficas utilizando ortofotos obtidas a partir das imagens do VANT. O autor utilizou ortofotos e coordenadas do Google Earth para o georreferenciamento e a correção geométrica das imagens. A falta de precisão devido ao método escolhido é citada em suas conclusões, o que ressalta a importância de uma metodologia adequada para a distribuição e aquisição das coordenadas de pontos de controle:

“As precisões apresentadas neste trabalho podem ser melhoradas seguindo o processo fotogramétrico tradicional, que inclui a intervenção manual para definir pontos de controle ... é recomendável realizar um trabalho de campo com GPS de alta precisão, e os pontos de controle devem ser implantados de forma que facilmente sejam identificados durante o processamento das imagens.” (ROBERTO, 2013, p.74).

A empresa Global desenvolveu seu próprio VANT com uma câmera de 24 megapixels e GPS embarcados. Os testes iniciais foram realizados por meio de um levantamento de 26 hectares em uma mina distante 10 km da cidade de Northam, África do Sul. A resolução espacial obtida correspondeu a 2,4 centímetros, sendo utilizados sete alvos artificiais, dos quais cinco aproveitados como ponto de controle e dois para checagem da qualidade posicional. O processamento foi executado com um *software* semelhante ao Agisoft PhotoScan extraindo-se 6,3 milhões de pontos homólogos. Como resultado, obteve-se um MDE e, por conseguinte, um ortomosaico. Os pontos de checagem apresentaram um RMSE de 4,8 cm na altitude

e 2,4 cm de erro planimétrico. Além da precisão alcançada, ressalta-se a economia de tempo, pois esta região já havia sido levantada diversas vezes, porém por meio de métodos convencionais. Em média, foram necessários entre sete a 10 dias de trabalho de campo a partir do método de levantamento com GPS com posição relativa. Com o VANT, o mesmo trabalho foi executado em apenas um dia, além de o processamento ser realizado, praticamente em sua totalidade, automaticamente pelo *software* (Silva Neto, 2014).

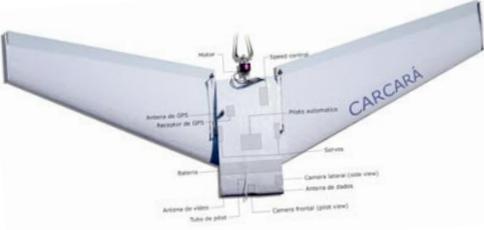
Além das aplicações em cartografia, vale ressaltar o uso do VANT em outras atividades. Bendea et al (2008), realizaram uma pesquisa na Itália, com objetivo principal de analisar o impacto após as ocorrências, em apoio à ação humanitária.

Ajibola e Mansor (2013) estudaram a viabilidade do uso do VANT para controle de enchentes. Em conclusão esta pesquisa, também, sustentou o uso do VANT para a sustentabilidade ambiental, considerando as possíveis barreiras de proteção de inundações, como represas. Lagos lagoas e barragens.

Em Marrocos D'oleire et al (2012) concluíram em um estudo de caso que o VANT é plenamente adequado para o monitoramento e controle de processos erosivos e da degradação associada. Além disso, os autores relatam diversas potenciais aplicações desta tecnologia em atendimento as demandas de sensoriamento remoto aplicado ao meio ambiente.

Atualmente há grande disponibilidade de VANT no mercado, com variabilidade em termos de peso, envergadura, resoluções espacial e espectral da câmera de bordo, resistência ao vento, velocidade e altitude máxima. O Quadro 4 apresenta alguns VANTS comerciais e suas características. No entanto, trata-se de uma amostra reduzida em razão da grande variabilidade de VANTS disponíveis. A seleção destes exemplos deu-se a partir da diversidade de suas características.

Nome	Imagem	Características
Swinglet CAM		<p>Peso: 500 gramas; 80cm de envergadura; Piloto automático; Câmera on-board de 12MP (resolução de até 3cm); Sistema de navegação e receptor GPS; Autonomia de 30 minutos e velocidade de até 36 Km/h.</p>
Ebee		<p>Peso: 630 gramas; 96 cm de envergadura; Piloto automático; alcance de 3 Km; Câmera RGB e NIR de 16 MP (resolução de 3 a 30 cm); Resistência a ventos até 45 Km/h; Sensor de altura e reverso para pousos. Autonomia de 50 minutos e 57 Km/h.</p>
Echar-20A		<p>Altitude máxima de 3000 m; Resistência a ventos até 45 Km/h e resistente a chuva leve; - Câmeras RGB, Termal e NDVI; - Peso: 7 Kg; Até 2,1 metros de envergadura; Resolução: 2 a 19 cm /pixel; autonomia de até 70 minutos e velocidade de 79 km/h.</p>
NAURU 500A		<p>Altitude máxima de 3000 m; 30km de alcance de comunicação; Peso: 15 Kg; Tamanho: 2,32 m; Decolagem através de pista; Resistência a ventos de até 45 Km/h e chuva leve; Câmeras RGB, Termal e NDVI; Resolução: 18 MP; Autonomia de até 4 horas. Velocidade de 108 Km/h.</p>
SIRIUS		<p>Câmera digital (Panasonic Lumix GF1); Envergadura de 163 cm; Peso: 2,3 Kg; Controle de voo autônomo; Autonomia de 40 minutos; velocidade de 85 Km/h.</p>

Carcará I		<p>Imagens transmitidas em tempo real; Informações de telemetria.  Envergadura: 160 cm;  Velocidade operacional: 40 km/h  Decolagem: manual ou catapulta  Recuperação: "deep stall"  Autonomia: de até 95 minutos;  Câmera móvel com zoom, ou sensor Infravermelho.</p>
MD6-900		<p>Equipamento com rotas pré-determinadas; Programação de Altitude, programada até 700m e voa em uma distância até 15km  Autonomia de até 30 min.  Gravação na câmera com imagem em HD para ser visualizado posteriormente;  Equipamento semi-automático.</p>

Quadro 4: Exemplos de VANTs disponíveis no mercado e suas características.

## 2.6 Alvos Artificiais

Segundo Novo (2008), a maioria dos sensores multiespectrais são construídos a partir da suposição de que os objetos da superfície terrestre têm comportamentos lambertiano, ou seja, que refletem e/ou emitem a radiação eletromagnética por igual em todas as direções. Porém estudos têm demonstrado que a refletância dos objetos da superfície não depende apenas de suas propriedades espectrais e espaciais, mas também da geometria de imageamento que engloba tanto o ângulo de iluminação quanto o ângulo de visada do sensor. Este fato é importante tendo em vista que em um levantamento fotogramétrico as fotografias são obtidas invariavelmente com certo grau de inclinação.

Segundo Wolf & Dewitt (2001 apud JENSEN 2009) pontos de controle artificiais são usualmente demarcados no campo usando uma cruz. A cor de cada ponto de controle deve contrastar com o material do fundo, como exemplo, uma cruz branca em um asfalto negro.

Bensebaa (2006) empregou vários métodos para determinar a resolução espacial do CBERS-1 e CBERS-2. Entre eles utilizou uma lona preta colocada no deserto de Gobi (República Popular da China). O contraste de luminosidade gerou

um resultado semelhante à cruz branca no asfalto negro, porém com as cores invertidas: o centro da lona foi a posição que menos sofreu influência da areia do deserto, sendo assim o centro foi reconhecido pelo pixel com menor reflectância.

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 Recursos empregados**

A execução deste trabalho utilizou os seguintes recursos e equipamentos:

- Alvos confeccionados em lona PVC.
- Aplicativo Custom Maps.
- Câmera Fotográfica LUMIX Panasonic DMC-FH20.
- Computador dotado com processador Intel Xeon, 16 gb de Memória RAM e placa de vídeo off board.
- Dispositivo móvel com GPS.
- Nível de cantoneira.
- Receptores GNSS Topcon Hiper Lite Plus.
- Régua estadimétrica expansível até 4 metros.
- *Softwares* ArcGIS 10.2, Autocad Map 2014, E-mo-tion, Envi 4.7, Quantum Gis 2.6, Topcon Tools, Map Geo 2010 e Surfer 12.
- Trena de 15 metros.
- VANT Swinglet Cam.

A seguir são descritos os procedimentos adotados para a operacionalização dos objetivos propostos.

#### **3.2 Seleção e Caracterização da Área de estudo**

A primeira etapa da execução do trabalho refere-se à escolha da área de estudo. Os critérios de seleção foram a proximidade de modo a facilitar a logística, estar enquadrada na atual legislação brasileira de VANT e que possuísse variedade de alvos para a geração de mapas topográfico e de cobertura e uso da terra. Assim, selecionou-se uma área situada na Estação Experimental Agrônômica da UFRGS, localizada no município de Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul. O polígono que delimita a região de interesse tem uma área total com aproximadamente 1 km<sup>2</sup> (Figuras 6 e 7).

A etapa seguinte se refere a caracterização da área de estudo, já que é

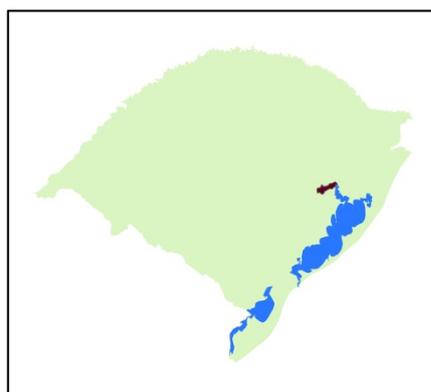
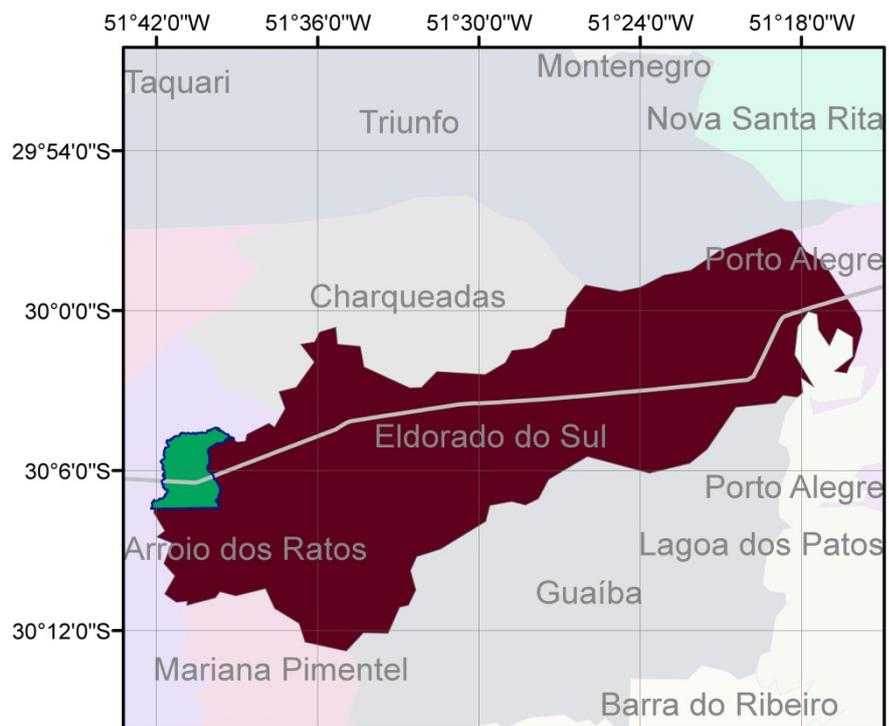
extremamente relevante no contexto da interpretação visual a ser aplicada adiante na elaboração do mapa de cobertura e uso da terra. O conhecimento prévio de fatores como a geomorfologia, solos e vegetação contribuem para intuir, diferenciar e excluir possibilidades de cobertura e uso do solo. Alguns dados a respeito do contexto de inserção da área de estudo foram baseados na revisão de literatura, nas páginas da *internet* do IBGE, CPRM bem como a partir da ferramenta de análise temporal das imagens disponível no *software* Google Earth. Porém, por tratar-se de uma área de dimensões reduzidas, a maior parte das informações foram obtidas em trabalho de campo pela inspeção *in loco*.

O município de Eldorado do Sul compõe a Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí e tem parte de seu território localizado na área preservação ambiental do Delta do Jacuí. Esta região se caracteriza pelo clima do tipo Cfa, de acordo com a classificação de Köppen, com precipitações regulares durante todo o ano e estações bem definidas (KUIECHTNER e BURIOL, 2001).

O relevo na região é de baixa altitude, variando de ondulado a suavemente ondulado, típico da Unidade Geomorfológica Depressão Central (SEPLAG, 2002). Nos limites da Estação Agronômica observou-se, em campo, a existência de coxilhas separadas por depressões suaves. O solo predominante é do tipo argissolo (EMBRAPA, 2011), característicos do relevo da Depressão Central do Estado. Estes solos são ideais para o plantio de culturas anuais, forrageiras de clima temperado e campo para a criação de gado.

A vegetação é composta basicamente por campos nativos e mistos e, em menor parte, por vegetação arbustiva na forma de capões isolados de mirtáceas. Foram observados também capões de *pinnus* e eucalipto, cultivo de forrageiras e milho.

## ESTAÇÃO EXPERIMENTAL AGRONÔMICA DA UFRGS



### Legenda

- BR 290
- Estação Experimental Agronomica
- Lagoas dos Patos e Mirim
- Eldorado do Sul
- Rio Grande do Sul

Figura 6: Mapa de Localização - Estação Experimental Agronômica da UFRGS.



Figura 7: Delimitação da área de estudo.

### 3.3 Elaboração de Alvos Artificiais

A obtenção de uma nuvem de pontos e o conseqüente modelo digital de terreno requer o conhecimento das coordenadas do centro da fotografia e dos seus parâmetros de rotação ( $\varphi$ ,  $\omega$ ,  $K$ ) do momento que esta foi obtida, através do processo de aerotriangulação. Porém, isto requer a prévia determinação das distorções da fotografia causadas, em parte, pelo efeito das lentes da câmara. No caso da calibração de campo, estas distorções são determinadas no mesmo processo de ajustamento de observações que determina os parâmetros de rotação. Este ajustamento é realizado através de pontos homólogos reconhecidos nas fotografias com coordenadas no sistema fotográfico. Estas coordenadas serão convertidas em coordenadas do sistema objeto (terreno) e formaram a nuvem de pontos. Alguns destes pontos homólogos são chamados pontos de controle. Estes são pontos com coordenadas ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) conhecidas do terreno e fazem a relação entre o sistema imagem (fotográfico) e o sistema objeto. Além disso, no processo de ajustamento de observações é levada em conta a precisão de cada observação. Isso pressupõe que as coordenadas dos pontos de controle tenham precisão compatível com a qualidade requerida no projeto de levantamento. Em outras palavras, estes pontos “guiarão” o processo de ajustamento e a transformação dos pontos do espaço imagem em espaço objeto.

De acordo com o planejamento do trabalho, a resolução espacial pretendida para o levantamento aéreo foi estabelecida em 10 cm. Portanto, foi necessário o desenvolvimento de alvos para pré-sinalização, de forma que o seu centro fosse reconhecido nas fotografias com precisão próxima à resolução espacial.

Os alvos foram então definidos a partir da realização de testes de contraste de cores opostas e do contraste de luminosidade. O contraste de cores opostas se dá pelo confronto de cores localizadas em pontos diretamente opostos no círculo de cores (Figura 8). Já o contraste de luminosidade é a relação de diferentes luminosidades como o azul e o amarelo, sendo a combinação entre o preto e o branco o auge desse tipo de contraste (Figura 9).



Figura 8: Contraste de Cores Complementares. Fonte: Viva Morar, 2015.

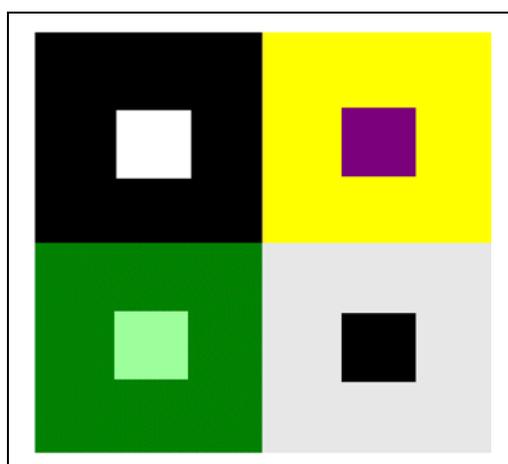


Figura 9: Contraste de Luminosidade. Fonte: Moreno, 2008.

Para os testes imprimiram-se figuras com quadrados de tamanho de 5 cm de lado e círculos com a mesma dimensão de diâmetro, com fundo verde para simular a cobertura do solo predominante na área estudo, conforme pode ser observado na Figura 10. Utilizou-se a câmera LUMIX Panasonic DMC-FH20, resolução de 14 megapixels (PANASONIC, 2010). Então, simulou-se um plano de voo para obtenção de uma resolução espacial para que cada quadrado ou círculo fosse representado por três pixels, segundo a fórmula (Equação 2):

$$Z = f \times \frac{D}{d} \quad (2)$$

Onde “Z” foi tomado com a distância para a tomada da fotografia; “f” a distância focal da câmera (5 mm); “D” a dimensão de um pixel no terreno (5cm/3); e “d” o tamanho do pixel no sensor ( $\approx 1,5$  micrômetro). O resultado gerado foi de aproximadamente 55 metros de distância, na qual deveria ser tomada a fotografia da impressão. Esta distância foi medida com uma trena

A fotografia resultante (Figura 11) foi processada e os pixels foram classificados com o auxílio do *software* Envi 4.7 para a definição de qual modelo de alvo seria mais adequado para o reconhecimento de seu centro. Neste processo foi aplicada a classificação digital não supervisionada K-means. A Figura 12 mostra o resultado obtido para o modelo circular, em cores preta e branca, na qual é possível perceber a distinção de valores de pixel que o *software* realiza para o centro da figura.

A partir do modelo escolhido, confeccionaram-se alvos plotados em lona de PVC, com tamanho 60cm x 60cm e centro circular de 30 cm de diâmetro (Figura 13). Este raio garante uma matriz de pixels quadrada de ordem ímpar (3 x 3 pixels), tendo assim apenas um pixel central para um voo com resolução de 10 cm.

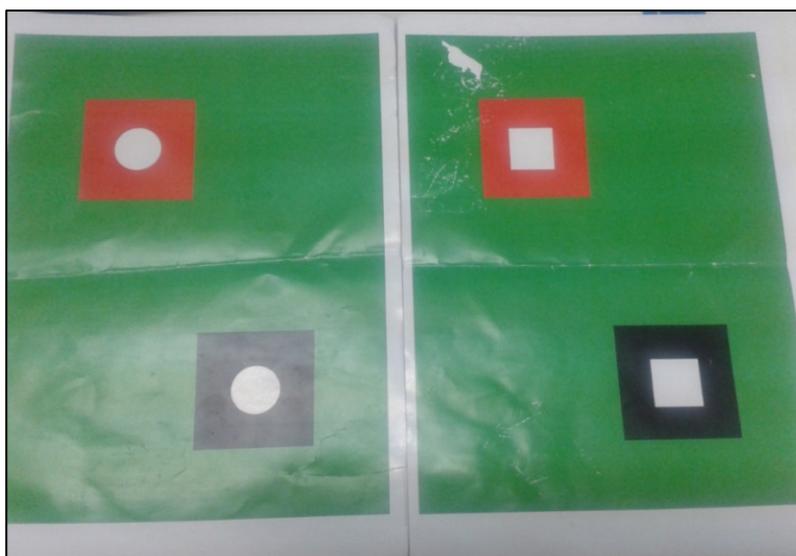


Figura 10: Simulação de alvos em papel.



Figura 11: Fotografia dos alvos em papel obtida a uma distância de 50 metros.

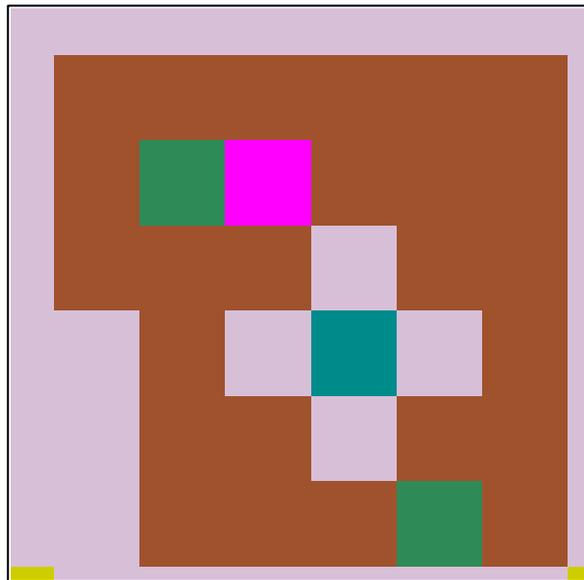


Figura 12: Alvo Circular Preto e Branco Classificado.



Figura 13: Alvo em Lona PVC

### 3.4 Pré-sinalização

A pré-sinalização é o procedimento que visa a distribuição de alvos artificiais para que sejam reconhecidos e medidos nas fotografias aéreas. As coordenadas destes alvos servem como pontos de controle nas operações de aerotriangulação, logo a determinação destas coordenadas também faz parte da pré-sinalização.

A distribuição dos pontos no terreno foi realizada com o auxílio do *software* Quantum Gis 2.6. Ao total, foram distribuídos 36 pontos, uniformemente espaçados na área de estudo (Figura 14). Alguns dos pontos tiveram sua localização alterada por estarem posicionados sobre ou muito próximo à água, edificações ou mata.



Figura 14: Distribuição de Alvos na Área de Estudo. Fonte: Google Earth / Autoria Própria

Em campo foram locados 34 alvos artificiais com o auxílio do aplicativo *Custom Maps*. Este aplicativo, utilizável no sistema operacional Android, permite criar mapas para navegação de GPS em dispositivos móveis. É possível carregar qualquer tipo de imagem, georeferenciá-la, e a partir de então, usá-la como mapa para navegação GPS. Em campo, dois alvos não foram locados em razão da falta de acessibilidade. Em alguns momentos da distribuição e da medição das coordenadas dos alvos houve perdas de sinal GPS diminuindo, assim, a precisão da locação. Como resultado, os 35 alvos foram locados com uma precisão entre 5 a 10 metros.

As coordenadas no centro dos alvos artificiais foram levantadas com três receptores GNSS geodésicos Topcon Hiper Lite Plus (TOPCON, 2004), através do método de posicionamento relativo. No posicionamento relativo as coordenadas obtidas pelo receptor no ponto em questão são ajustadas por observações de pelo menos outros dois receptores GNSS simultaneamente. Com isso, se tem um receptor “móvel” (também denominado Rover), que registra dados ponto a ponto, e dois estáticos (também denominado Estações Base) que rastreiam seus pontos fixos por tempo indeterminado. Este procedimento, conhecido também pela sigla RTK (Real Time Kinematic), acelera o tempo de rastreamento em cada ponto, atingindo uma precisão de poucos centímetros em poucos segundos. Neste trabalho, a precisão

dos pontos requerida foi definida em 5 cm (metade da resolução espacial planejada). As duas estações base foram locadas em marcos geodésicos localizados no interior da Estação Agronômica. Estes marcos são identificados como M08 e M09.

O ajustamento das coordenadas GNSS obtidas foi realizado com o auxílio do *software* Topcon Tools. Nesta etapa é necessário fornecer as coordenadas das estações base, para que sirvam como pontos de controle no ajustamento (Figura 15). Estes pontos são fixos e se tornam referência no ajustamento das observações, isto é, ajustamento com inunção relativa. As coordenadas dos marcos M08 e M09 levantadas por Dias et al (2014) e Matias et al (2014) foram consideradas como referência neste trabalho. Estes levantamentos realizados de maneira independente obtiveram diferenças máximas de três mm planimetricamente e dois cm altimetricamente. As monografias dos marcos geodésicos elaborados por Dias et al (2014) encontram-se no Apêndice A.

Devido algum motivo não identificado, alguns pontos não estabeleceram linha base para uma das duas estações base ao mesmo tempo, dado a este fato, também foram utilizadas as efemérides da estação Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) em Porto Alegre (POAL) para o mesmo dia do levantamento destes pontos (Figura16).

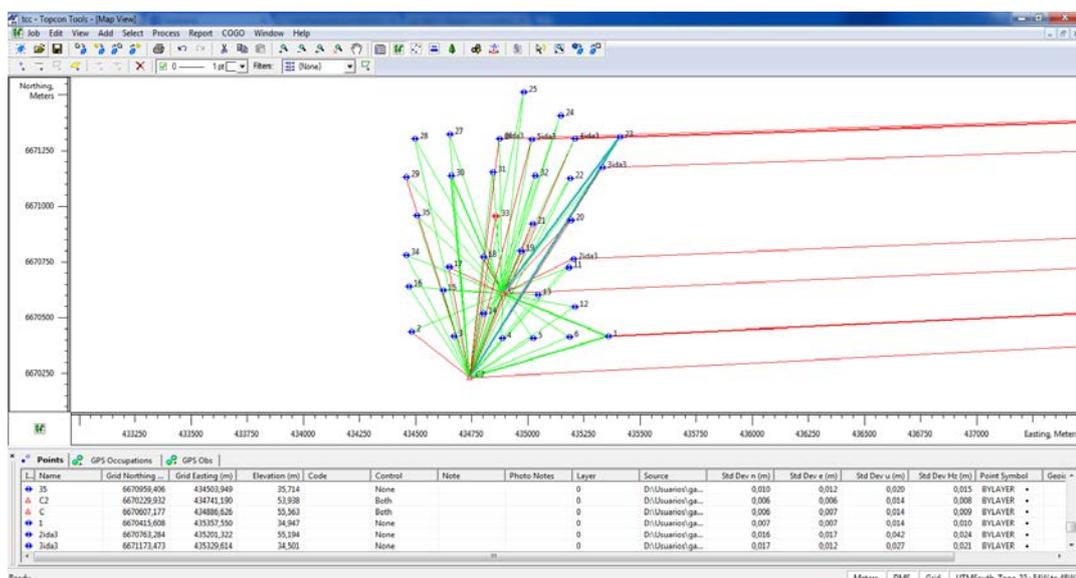


Figura 15: Interface Topcon Tools – Linhas Base

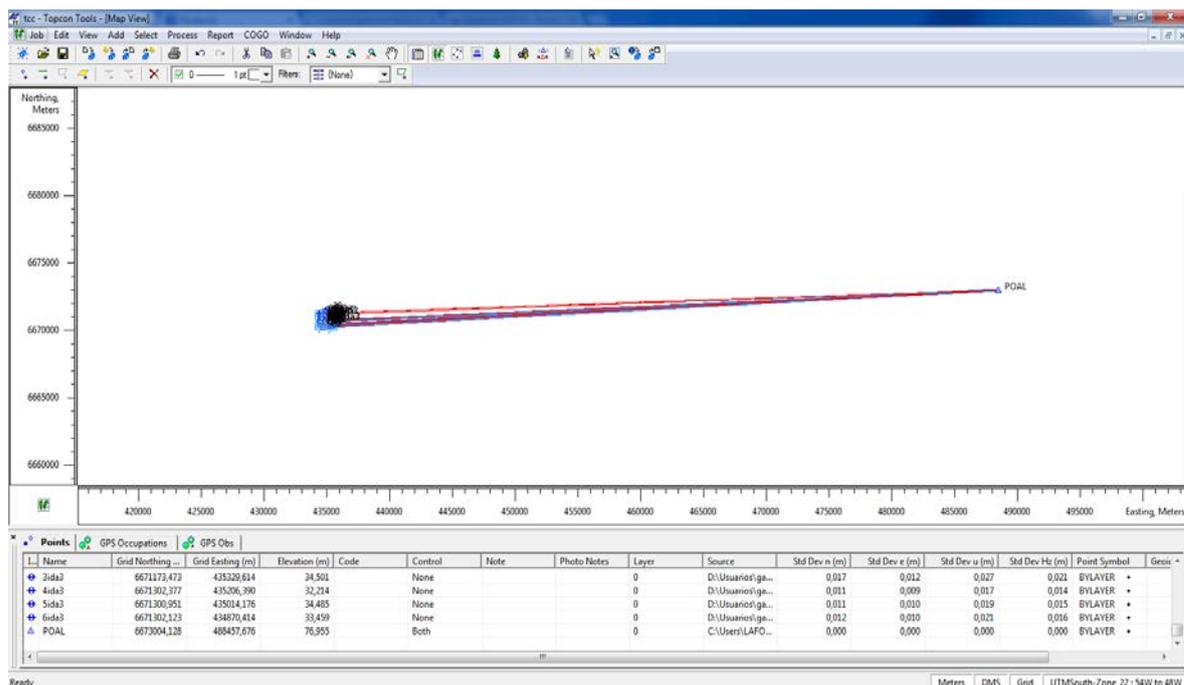


Figura 16: Interface Topcon Tools - Linhas Base POAL-Estação Agronômica.

### 3.5 Planejamento e Execução do Voo

O voo foi executado com o VANT Swinglet CAM (Figura 17 e Quadro 4) do Instituto de Geociências da UFRGS. Este pesa menos de 500 gramas e possui 80 cm de envergadura. A câmera a bordo é o modelo Canon IXUS 220HS, com resolução de 12 megapixels (4000 x 3000), distância focal de 4,3 mm e pixels de 1,54 micrômetros (CANON, 2011).

Devido ao seu reduzido porte, foi avaliada a previsão meteorológica para a seleção de datas para o aerolevante, considerando a possibilidade de chuva e velocidade do vento.

O plano de voo o VANT Swinglet CAM foi elaborado no *software* E-motion, onde é possível programar o tamanho da resolução espacial desejada, o raio de alcance e a área de voo conforme a autonomia das baterias. A partir disso, o *software* determina as linhas de voo (Figura 18) e a altura de voo. A partir de então, o VANT executa o plano de voo automaticamente.

O levantamento foi executado em 29 de novembro de 2014, com quatro voos sobre a região de interesse, programados em função da capacidade das baterias. Três voos foram executados no sentido leste-oeste e um no sentido norte-sul,

configurando um voo cruzado para assegurar que todas as feições seriam fotografadas e sobrepostas. Também, para que houvesse um número maior de fotografias sobre a mesma posição em visadas distintas, aumentando, assim, o grau de liberdade no ajustamento da posterior aerotriangulação. Ao total foram adquiridas 174 fotografias.



Figura 17: VANT Swinglet Cam

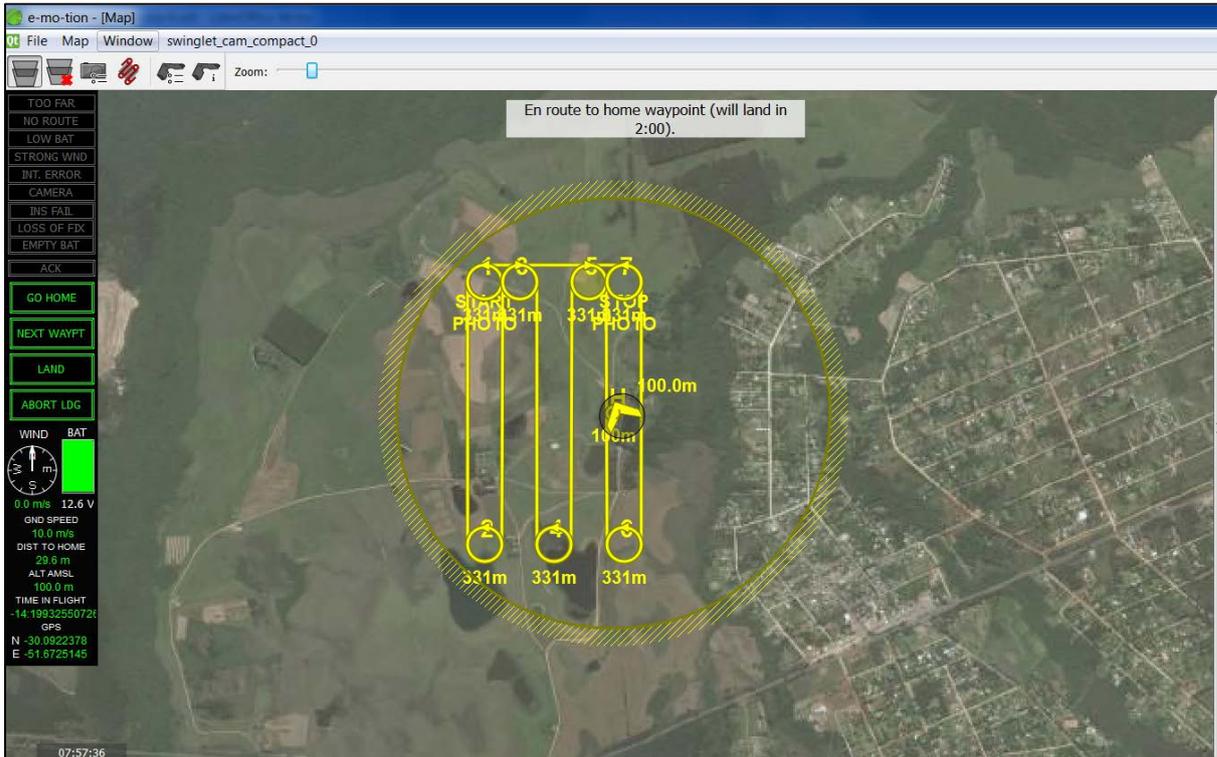


Figura 18: Interface E-motion - Plano de Voo da Área de Estudo

### 3.6 Processamento das Fotografias – Aerotriangulação

A aerotriangulação, o MDT e o ortofotomosaico foram elaborados com o *software* Agisoft PhotoScan, que executa a modelagem 3D baseado em imagens controladas ou não. As fotografias podem estar em qualquer posição, desde que a feição a ser reconstruída seja visível em pelo menos duas fotografias obtidas de ângulos diferentes (princípio básico da estereoscopia).

A geração do ortofotomosaico seguiu o procedimento deste *software*, constituído em quatro etapas. A primeira fase consistiu no alinhamento da câmara, no qual o Agisoft PhotoScan procura por pixels homólogos nas fotografias. Este processo corresponde à medição de pontos homólogos e isto possibilita o cálculo dos parâmetros de rotação das fotografias, das posições do ponto principal e das distorções da câmara. O *software* gera uma nuvem de pontos que, no entanto, foi considerada esparsa demais para gerar um modelo do terreno de qualidade. Assim, primeiramente foi utilizada a opção de alinhamento arbitrário para o reconhecimento e marcação dos alvos artificiais. A partir do alinhamento das fotografias, o *software* indica ao usuário, por meio da função *Filter Photos by Markes*, as outras fotografias

onde tais pontos estão presentes.

Para que estes alvos tenham a função de pontos de controle dentro do alinhamento foi preciso importar suas coordenadas. Porém, antes da importação um cuidado foi tomado, já que as coordenadas GNSS são obtidas através de um elipsoide de referência, WSG 84, no caso do GPS, as quais as altitudes são referenciadas. Assim, optou-se pela adoção de um modelo de geoide confiável para que se obtenha a ondulação geoidal, no caso o modelo disponibilizado pelo IBGE. Tal modelo permite a obtenção da ondulação geoidal local através do *Software* Mapgeo 2010. Os resultados referentes à ondulação geoidal variaram entre 5,90 e 5,93 metros. Estes resultados foram subtraídos de cada ponto levantado, porém, poderia-se utilizar um valor médio para toda área, já que se supõe que em regiões pequenas a ondulação geoidal não varia significativamente e que 1,5 cm, em média,  $((5,93-5,90)/2)$  seria um erro admissível, tendo em vista que a precisão dos pontos levantados foi de 5 cm. Os resultados obtidos encontram-se Apêndice B.

Entre os 34 pontos levantados, foram utilizados cinco destes: um em cada canto do limite da área de estudo e outro próximo ao centro (Figura 19). Após a marcação dos pontos foi efetuado um realinhamento, porém, desta vez, referenciado aos pontos de controle de modo a obter maior precisão. Neste procedimento, outro cuidado diz respeito à matriz de peso das observações do processo de ajustamento de observações. No caso das fotografias, as coordenadas do ponto principal foram obtidas através do Receptor de GPS acoplado ao VANT, o qual não tem nenhuma base de referência e, por lógica, seu levantamento é cinemático. Este tipo de levantamento tem precisão de aproximadamente 15,3 metros (IBGE, 2008). Este fato embasou a alteração das configurações do Agisoft PhotoScan: a precisão das fotografias foi alterada para 10 metros e a precisão dos pontos de controle para 10 centímetros (considerando um pixel de erro de observação do operador). Com o novo alinhamento e com os parâmetros de calibração ajustados, a precisão informada pelo *software* resultou em 0,6 pixel. Os erros informados e os parâmetros de calibração da câmera utilizada no VANT encontram-se no Apêndice B, sendo o erro máximo entre a coordenada estimada pelo GPS do VANT e a ajustada de 19 metros.

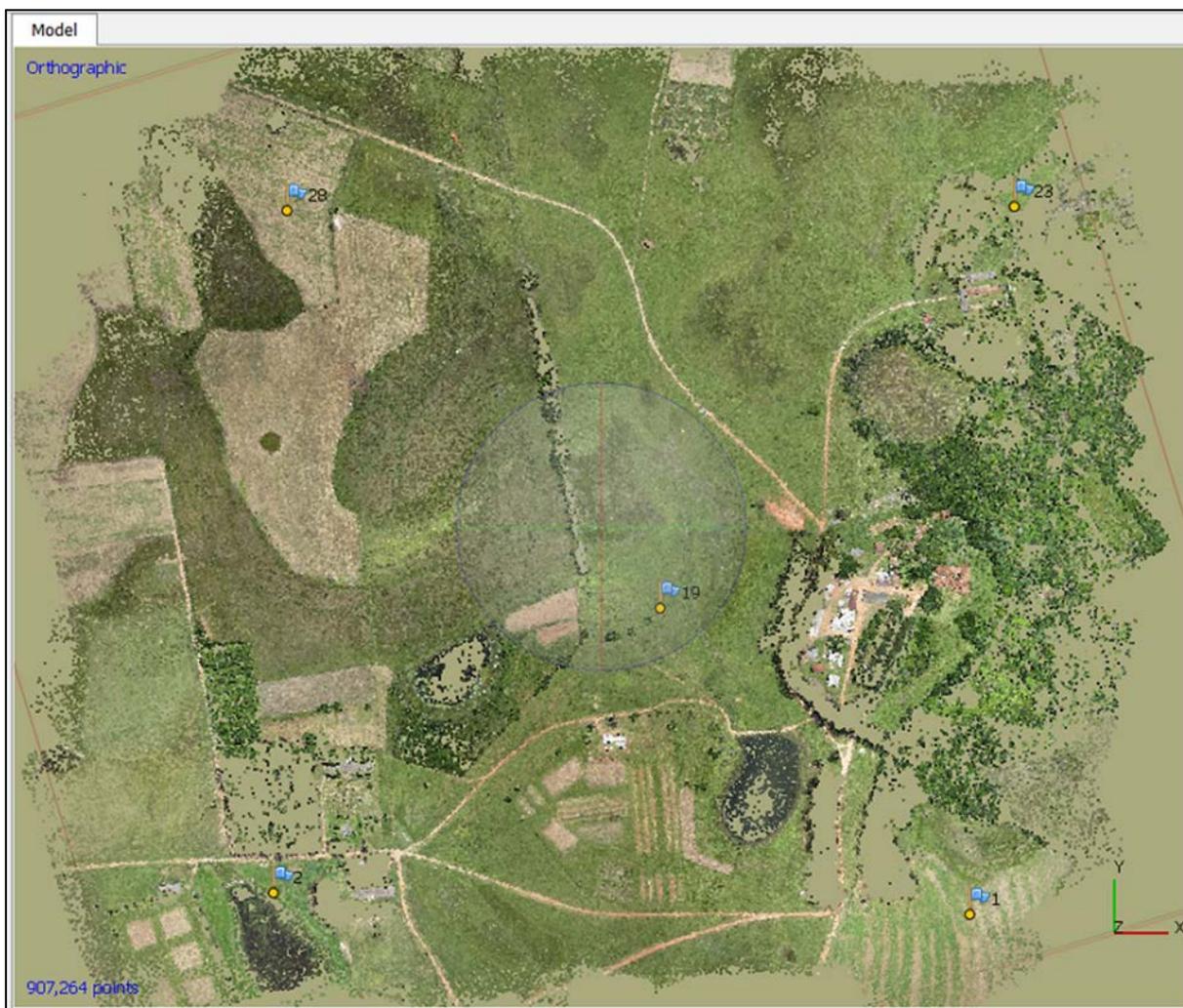


Figura 19: Nuvem de Pontos homólogos e 5 pontos de Controle.

A segunda etapa para geração do ortofotomosaico se constituiu na densificação da nuvem de pontos. O Agisoft PhotoScan executa este procedimento com base nas imagens e suas posições, por isso, tomaram-se os devidos cuidados relatados na etapa anterior. Entre os vários níveis de densificação disponíveis, escolheu-se o nível mais alto (ultraelevada), gerando mais de 200 milhões (202.698.049) de pontos tridimensionais com suas respectivas tonalidades. A densificação ultraelevada requer um processamento bastante superior e, no caso deste trabalho, este processo teve a duração aproximada de 24 horas. Apesar do tempo dispendido, é essencial que se obtenha o maior número de pontos possíveis, pois estes são a base para a geração do MDT e para a interpolação que dará origem às curvas de nível em etapas posteriores.

A terceira etapa da produção do ortofotomosaico se deu pela construção do modelo digital de terreno, na qual se baseia na nuvem de pontos gerada anteriormente. O *software* empregado utiliza apenas a denominação de modelo, pois o objeto em questão não necessariamente se trata de um terreno. Nesta fase se realizou a triangulação, que dará forma e representará o objeto. O *software* oferece dois tipos de algoritmos: o mapa de alturas e o arbitrário. O primeiro é indicado, segundo o manual do *software*, para fotografias aéreas e terrenos planos, é mais simples de ser implementado e exige uma menor capacidade de processamento computacional. O segundo é indicado para qualquer tipo de objeto, como reconstrução de estátuas, porém exige maior capacidade de processamento e memória do computador. Pode-se pensar que o mapa arbitrário seja indicado para fotografias aéreas, conforme indicado no manual do *software*, porém edificações e árvores são mudanças abruptas do terreno, tomando características de objetos. Este efeito pode ser perceptível no ortofotomosaico, portanto, selecionou-se o algoritmo de mapa de alturas, pois as configurações e a capacidade do computador não foram suficientes para gerar o modelo digital pelo algoritmo arbitrário.

A geração do ortofotomosaico consiste no reposicionamento dos pixels para uma vista ortogonal, eliminando, assim, o desvio devido ao relevo e à inclinação da tomada da fotografia. A imagem também estará corrigida das distorções da câmera. Os resultados do ortofotomosaico gerado serão discutidos no próximo capítulo, mas vale destacar que o modelo foi obtido pelo algoritmo mapa de alturas, não adequado para edificações e árvores e, ainda, as edificações sofreram distorções em suas bordas. Isto se deve em parte ao uso do modelo errôneo e em parte devido às sombras das edificações que, em certas fotografias, aparecem e em outras, não. Tais distorções dos limites das edificações resultaram na perda da confiabilidade para a posterior vetorização. Por este motivo, foi criada uma nova etapa no contexto do Agisoft PhotoScan.

As fotografias foram então assinaladas com pontos de ligação que, ao contrário dos pontos de controle, não possuem coordenadas conhecidas. Apesar destes também serem auxiliares na aerotriangulação, pois têm a mesma função dos pontos homólogos localizados automaticamente pelo *software*. Neste trabalho, os pontos de ligação foram utilizados apenas para determinar as coordenadas planimétricas dos vértices das edificações, para posteriormente serem exportados e ligados na

vetorização. Assim, pode-se obter parâmetros mais confiáveis do que a simples inferência do operador aos limites das edificações (Figura 20).



Figura 20: Vetorização a Partir dos Pontos de Ligação.

### 3.7 Vetorização

A vetorização e, por conseguinte, a representação os produtos cartográficos foram elaboradas na projeção UTM e com o sistema de referência geodésico SIRGAS 2000, por ser o utilizado nos levantamentos GNSS. De acordo com norma de execução de levantamento topográfico (NBR 13133), a área de estudo pode ser considerada plana, por não sofrer efeito da curvatura terrestre, neste sentido não precisaria ser projetada. Porém a execução de trabalhos em latitude e longitude e graus decimais podem causar erros em medições devido às conversões para o sistema métrico e a precisão em números de dígitos significativos utilizados nas coordenadas. Além disso, a projeção UTM por ser métrica causa uma maior percepção métrica por parte do usuário. Ademais, a projeção UTM também é a projeção padrão em diversos tipos de produtos cartográficos, como o georreferenciamento de imóveis rurais e as cartas do mapeamento sistemático brasileiro.

A partir do modelo digital do terreno gerado na etapa anterior, foram exportados o ortofotomosaico, as ortofotos independentes das edificações e os pontos com as coordenadas estimadas dos vértices das edificações. Nesta fase, o processo de vetorização visa a geração de dois mapas: cobertura e uso da terra e topográfico.

Em razão dos objetivos diferentes, eles foram elaborados separadamente. Normalmente, a escala e o nível de interpretação são decorrentes do objetivo e precisão requeridos e, por este trabalho se tratar de um ensaio, definiu-se a escala 1:2.500 para apresentação dos mapas a serem produzidos.

A identificação e a vetorização das classes de cobertura e uso da terra foi executada no *software* ArcGIS 10.2, com a estrutura do arquivo no formato *Geodatabase* composto por dois *layers*: linhas e polígonos. Adotou-se uma escala de visualização em até 1:100 em virtude da elevada resolução espacial das imagens, do tamanho reduzido da área e para maior precisão entre os limites das classes

A partir da análise prévia da imagem, dos dados gerais anteriormente levantados sobre a área e considerando as diretrizes propostas no Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (IBGE, 2006), decidiu-se classificar a imagem de acordo com o Nível III de detalhamento. Neste nível é explicitado o uso da terra propriamente dito e, mesmo com a elevada resolução espacial de 10 cm das imagens, é imprescindível a utilização de dados obtidos a partir de observações de campo e de documentação em geral.

O Quadro 5 apresenta as classes definidas, de acordo com o sistema de classificação adotado. O sistema permite o agrupamento das unidades de mapeamento do nível III para níveis superiores (I e II), conforme preconizado pelos diversos sistemas atuais de classificação de cobertura e uso da terra.

<b>Nível I - Classe</b>	<b>Nível II – Subclasse</b>	<b>Nível III - Unidades</b>
Áreas Antrópicas Não Agrícolas	Áreas Urbanizadas	Construções
		Vias Não Pavimentadas
Áreas Antrópicas Agrícolas	Culturas Agrícolas Temporárias	Hortícolas
		Milho
		Cultura Associada Aveia/Azevém
		Cultura Associada Aveia/Azevém/Milho/Campo Nativo
	Culturas Agrícolas Permanentes	Frutíferas Cítricas
	Silvicultura	Eucalipto
Pinnus		
Áreas de Vegetação Natural	Área Florestal / Área Campestre	Pecuária de Animais de Médio e Grande Porte Associada ao Campo Nativo
		Campo Nativo Úmido
		Gramínea
		Mata Nativa
Água	Águas Continentais	Lago
		Canal de Drenagem
Outras Áreas	Áreas Descobertas	Solo Exposto

Quadro 5: Classes de cobertura e uso da terra definidas para a área de estudo, de acordo com IBGE, 2009.

O método empregado se baseia no reconhecimento de unidades homogêneas a partir das características da resposta espectral, textura, forma, padrão e localização geográfica dos alvos. Dada a resolução espacial da imagem, não houve dificuldade maior neste processo. Por exemplo, a diferenciação de mata nativa e silvicultura se deram pela textura e tonalidade heterogêneas da primeira, em razão da variedade de espécies e, pela tonalidade e textura homogênea da segunda classe, em razão de se tratar de uma única espécie, com mesma altura e disposição linear (Figura 21).

A maior dificuldade esteve relacionada à identificação de pequenas áreas isoladas onde não se pode atribuir uma categoria de uso apenas pela interpretação da imagem. Assim, todos os pontos a serem esclarecidos foram inspecionados em campo.



Figura 21: Variação de textura e de resposta espectral da vegetação. A seta à esquerda indica silvicultura e à direita, mata nativa.

O mapeamento topográfico realizado tem por objetivo representar todas as feições, naturais ou humanas, presentes no terreno, bem como atribuir toponímias. No processo de vetorização, também executado no ArcGIS 10.2, teve-se o cuidado de realizar o processo da forma mais precisa possível, para adiante determinar posteriormente a sua qualidade em diversos padrões de exatidão.

Foram então mapeados: postes elétricos e de iluminação, cercamentos, vegetação arbustiva, árvores isoladas, vias, edificações e elementos de hidrografia (lagos e canais de drenagem). Diferentemente do mapeamento de uso e ocupação, as árvores isoladas foram representadas por símbolos pontuais e as edificações foram representadas na sua forma real mesmo quando sobrepostas pela vegetação.

As edificações foram vetorizadas a partir dos pontos de ligação, já descritos e representados na Figura 20. Algumas feições de interesse estavam cobertas pela vegetação no ortofotomosaico, porém, devido ao grande número de fotografias com feições homólogas, foi possível determinar a posição de algumas feições mesmo não visíveis em sua totalidade. Ainda assim, algumas feições permaneceram

encobertas, portanto, estas foram assinaladas para a execução do procedimento de reambulação, na mesma data da verificação dos usos do solo.

A reambulação destina-se a complementação dos dados cartográficos como toponímia, checagem de dúvidas e medições que não puderam ser realizadas através da fotogrametria.

Assim, foram realizadas medições das edificações encobertas em campo, utilizando-se réguas estadimétricas expansíveis até 4 metros, alinhadas ao teto das edificações e niveladas com níveis de cantoneira, e medidas com trena. O alinhamento ocorreu junto ao teto das edificações porque é a partir destes que se realizaram as vetorizações. Pode-se dizer que esta é uma das limitações da fotogrametria, em comparação a outros métodos de levantamento. Em certas atividades, como a do cadastro técnico, a diferença entre o beiral e as paredes podem causar diferenças significativas no cálculo do valor da construção. Também foram medidas as larguras dos beirais a fim de se realizar comparações entre a área vetorizada e a área construída. Além das medidas, foram verificadas *in loco* as atividades exercidas em cada edificação para a atribuição da toponímia.

O mapeamento topográfico pode ser apenas planimétrico ou planialtimétrico. Neste trabalho adotou-se o mapeamento planialtimétrico para a melhor análise de todos os aspectos do mapeamento com VANT. Neste sentido, utilizaram-se os pontos levantados nos alvos artificiais como pontos cotados. Para a geração das curvas de nível foram exportados os pontos tridimensionais (x, y, z) gerados no processo de densificação do Agisoft PhotoScan. Porém, optou-se por gerar uma densificação com menos pontos, pois 2 milhões de pontos tornaram o processamento lento, além de apresentar erros como pontos sobrepostos e erros altimétricos em pontos próximos a elevações acentuadas, como árvores.

Assim, estabeleceu-se uma nuvem de pontos com cerca de 700.000 pontos tridimensionais. Antes da utilização dessa nuvem, foi necessário editá-la para que esta não representasse o MDS (Modelo digital de Superfície), mas sim, o MDT (Modelo Digital de Terreno). Foi preciso, então, eliminar os pontos sobre as edificações e a vegetação. Esta edição foi realizada através da ferramenta do *Select for Location* do ArcGIS 10.2. Esta ferramenta do administrador de bancos de dados seleciona feições através de um algoritmo gerado em linguagem SQL (Linguagem de Banco de Dados). O comando executado selecionou todos os pontos da nuvem

de pontos que estivessem contidos dentro dos polígonos de vegetação e edificações, ou distantes 1 metro destes e, logo em seguida, os excluiu. Com isso, foi produzida uma nuvem de pontos apenas do terreno (MDT). O resultado é representado na Figura 22.



Figura 22: Nuvem de Pontos do Terreno

Para a geração das curvas de nível foi realizada a interpolação da nuvem de pontos no *software* Surfer 12, por meio do interpolador Inverso da Distância Ponderada. O mais usual para este tipo de processamento é o uso da interpolação por triangulação, porém o *software* não permite que sejam usadas as ferramentas *Break Line* e *Track Line* para este tipo de interpolador. Fez-se uso das ferramentas *Break Line* e *Track Line* para que posteriormente as curvas de nível não interceptassem edificações, admitindo-se como limite uma curva passante pela edificação. As curvas de nível também foram geradas no Surfer 12, de acordo com a precisão altimétrica da nuvem de pontos que será abordada com maior profundidade no próximo capítulo.

## 4. RESULTADOS E CONTROLE DE QUALIDADE

### 4.1 Levantamento com receptor GNSS

O controle de qualidade foi executado por meio de etapas distintas de modo a garantir que em caso de detecção de erros em alguma etapa específica, não houvesse necessidade de refazer o processo ao final. Desta maneira, a primeira fase da análise de qualidade dos produtos se refere à pré-sinalização, ou seja, à qualidade das coordenadas dos alvos artificiais levantados pelo receptor de GNSS. Após o ajustamento realizado no *software* Topcon Tools obteve-se o desvio padrão dos pontos. A precisão de tais pontos foi estimada por meio da Equação 3, gerando-se assim, um vetor tridimensional dos desvios padrão.

$$\sqrt{(e^2 + n^2 + h^2)} \quad (3)$$

Onde:

e = desvio padrão da coordenada ESTE UTM

n = desvio padrão da coordenada NORTE UTM

h = desvio padrão da altitude elipsoidal

O valor máximo do vetor resultou em 6,09 cm e a média 2,44 cm. Os desvios padrão de cada ponto e seus respectivos vetores encontram-se descritos no Apêndice B.

### 4.2 Aerotriangulação, Calibração de Câmeras e Alvos Artificiais

No processo de aerotriangulação verificou-se que o erro das coordenadas do ponto principal pode chegar aproximadamente a 20 metros. A descrição destes dados juntamente com os parâmetros de calibração para câmera à bordo do VANT podem ser consultados no Apêndice B.

A teoria inicial de que os centros dos alvos seriam representados por um pixel

mais claro foi constatada com sucesso. Porém, alguns dos alvos em algumas das fotografias apresentaram um certo borramento, provavelmente devido à ocorrência de inclinações do VANT no momento da tomada da fotografia e também devido à reflexão difusa (Figura 23).



Figura 23: Alvo na fotografia com o centro bem definido (à esquerda); Alvo com borramento (à direita).

### 4.3 Ortofomosaico

A qualidade posicional do ortofomosaico foi determinada pela medição da distância entre os alvos artificiais vistos nas imagens e os pontos levantados em campo sobre estas. A medição foi realizada por meio da função *Mensuare* do ArcGis 10.2 (Figura 24). Excluíram-se assim os pontos 1, 2, 19, 23 e 28 devido a sua utilização como pontos de controle, portanto, ao total foram mensurados 29 pontos. O erro máximo testado em 90% destes pontos alcançou 0,1565 metros e o desvio padrão 0,1222 metros (Apêndice B).

A partir do Quadro 3 anteriormente apresentado, é possível inferir que para uma carta classe A, de acordo com PEC- DIGITAL, o erro máximo se define multiplicando 0,25 mm pela escala da carta e, o desvio padrão máximo de 0,15 mm, também multiplicado pela escala da carta. Com isso, pode-se afirmar que é possível obter produtos cartográficos de classe A elaborados com este ortomosaico em escala 1:815, ou menores. Sendo este o padrão de precisão mais rigoroso dos apresentados neste trabalho, conclui-se também que pode-se elaborar produtos

cartográficos em classe A para o PEC (BRASIL,1984). Portanto, é viável a elaboração de produtos destinados ao georreferenciamento de imóveis rurais, à identificação de áreas de preservação permanente, dentre outras aplicações.

Figura 24: Medição entre o ponto levantado com receptor GNSS e o centro do alvo artificial.

#### **4.4 Vetorização**

A qualidade das vetorizações para o mapa topográfico foi analisada através da comparação entre as feições vetorizadas na tela do computador com as feições medidas em campo, realizadas em conjunto com a reambulação. Como o processo de vetorizações é realizado a partir da vista superior das edificações, mediu-se o comprimento das paredes e dos beirais. Procurou-se distribuir as medições uniformemente por toda área de estudo, porém concentrando a maior quantidade de medições na área com o maior número de edificações. (Apêndice C). Ao total foram medidos 20 vértices e um perímetro. É razoável pensar que quanto maior o comprimento do vértice, maior a possibilidade de erro. Tendo isto em vista, foram calculados os erros por metro. Como resultado, obteve-se assim um erro máximo de

2,05 cm/m, ou 2,05% em 90% dos vértices testados. O resultado completo pode ser consultado no Apêndice B.

A consistência do processo de vetorização das classes do mapa de cobertura e uso da terra foi verificada por meio das ferramentas *Repair Geometry* e *Verify Topology*. Estas funções avaliam e indicam a consistência da geometria e da topologia, por meio de um arquivo adicional onde são apresentados os erros cometidos durante o processo de vetorização, tais como polígonos sobrepostos, zonas sem informação temática, entre outros. Posteriormente aos ajustes, calculou-se a área ocupada por cada classe mapeada, com a prévia aplicação da ferramenta *Clip* de modo a considerar apenas os limites da área de estudo.

#### 4.5 Nuvem de Pontos e Curvas de Nível

A qualidade altimétrica da nuvem de pontos foi aferida através da interpolação desta no *software* Surfer 12. Empregou-se o interpolador Inverso da Distância Ponderada, comparando-se o valor interpolado com os respectivos pontos levantados em campo. O erro máximo obtido para 90% dos pontos testados foi de 0,56 m e o desvio padrão de 0,2753 (Apêndice B). Estes valores evidenciam que a representação das curvas de nível com equidistância de um metro não permite classificar o produto como classe A, de acordo com a legislação atual. Por esta razão, foram geradas curvas de nível equidistantes em 2 metros. A qualidade das curvas foi estabelecida pela medição de uma reta que ligasse, aproximadamente de forma perpendicular, duas curvas de nível e que interceptasse o ponto cotado. O erro foi determinado através da Equação 4.

$$\text{Erro Altimétrico} = \text{Cota Interpolada} - \text{Ponto Cotado} \quad (4)$$

Onde

$$(\text{Cota Interpolada}) = \frac{2d}{D} + cr$$

Onde  $d$  é distância entre o ponto cotado e a curva de referência;  $D$  é a distância entre as curvas; e  $cr$  é a cota da curva de referência.

O erro máximo alcançado para 90% dos pontos testados foi 44,96 centímetros e desvio padrão 31,88 centímetros. A DSG (2008) não estabelece o padrão para erros altimétricos, mas é possível supor que o erro altimétrico admissível é metade do erro admissível em Brasil (1984), já que o altimétrico também o é. Sendo assim é todos os aspectos do mapa se enquadram na qualidade cartográfica classe A do PEC-Digital.

#### **4.6 Resultados Finais**

O primeiro resultado final gerado é um mapa topográfico planialtimétrico classificado como classe A do PEC-DIGITAL e, por conseguinte, também classificado como classe A de acordo com a legislação atual. Além deste, elaborou-se também um mapa de cobertura e uso da terra e uma carta imagem. Estes produtos são apresentados no Apêndice D.

O mapa topográfico apresenta curvas de nível equidistantes em dois metros, pontos cotados com desvio padrão máximo de seis cm, e os seguintes elementos reconhecidos: postes; vias; construções; cercas; canais de drenagem; lagos; vegetação arbustiva e árvores isoladas. Às construções tiveram associadas os respectivos usos ou atividades desenvolvidas levantadas pelo processo de reambulação.

O mapa de cobertura e uso da terra contém 16 classes, descritas a seguir.

- Mata nativa. Capões de vegetação natural com formações arbóreas e arbustivas, incluindo remanescentes primários e alterados.
- Campo Nativo Úmido. Áreas de campo nativo gramíneo lenhoso, situadas em regiões de menor altitude, com acúmulo de umidade sazonal.
- Campo Nativo Associado à Pecuária de Médio e Grande Porte. Campo nativo utilizado eventualmente para pastagem de bovinos e ovinos. Compreende a maior extensão da região de estudo.
- Hortícolas. Cultivo isolado destinado à produção de alimentos. Esta classe é composta por hortaliças folhosas e de talos, como alface, brócolis, couve, couve-flor, repolho, abobrinha, condimentares, entre outras.
- Milho. Granífera com cultivo de curta duração, com ciclo inferior a um ano.

Destinada principalmente à criação de aves.

- Cultura Associada Aveia/Azevém. Cultivo de plantas de curta ou média duração, com ciclo vegetativo inferior a um ano. Esta classe é composta pelas forrageiras para corte aveia e azevém, destinadas à pecuária de animais de médio e grande porte praticada na área. Localiza-se em meio ao campo nativo.

- Cultura Associada Aveia/Azevém/Milho e Campo Nativo. Trata-se de experimentos realizados pelo laboratório de solos, com integração de forrageiras e milho em faixas alternadas de campo nativo.

- Cítricos. Compreende o cultivo de plantas perenes, com ciclo vegetativo de longa duração, sem a necessidade de novos plantios após a colheita. Na área estão presentes espécies de laranja, limão e bergamota.

- Eucalipto. Espécie florestal exótica com a finalidade de agente protetor, ornamental ou fornecimento de madeira para as atividades desenvolvidas na área de estudo. Em alguns setores esta classe margeia áreas de mata nativa.

- Pinnus. Espécie florestal de plantio homogêneo e isolado, sem uso especificado.

- Gramínea. Gramíneas exóticas associadas à nativas sem uso específico.

- Solo Exposto. Áreas descobertas, sem vegetação ou uso associado.

- Construções. Esta classe é composta por edificações utilizadas para o uso administrativo, laboratórios específicos, alojamento, refeitório, abrigo de máquinas agrícolas e lazer.

- Vias Não Pavimentadas. Vias de circulação sem revestimento.

- Lago. Corpo d'água continental natural de água doce. Uso relacionado ao fornecimento de água para a pecuária.

- Canais de drenagem. Rede de canais destinados ao escoamento superficial em áreas de campo durante períodos de acúmulo de água.

As áreas ocupadas por cada de cobertura e uso da terra são apresentadas no Quadro 6.

<b>Classe</b>	<b>Área (m²)</b>	<b>(%)</b>
Mata Nativa	216.36	27,47
Solo Exposto	7.26	0,92
Construções	7.45	0,95
Lagos	35.09	4,45
Gramínea	20.00	2,54
Vias Não Pavimentadas	25.15	3,19
Eucalipto	26.46	3,36
Cítricos	4.19	0,53
Milho	6.19	0,79
Cultura Associada: Aveia /Azevém	49.91	6,34
Cultura Associada: Milho/Aveia/Azevem/Campo Nativo	17.78	2,26
Hortícolas	1.15	0,15
Campo Nativo Úmido	56.25	7,14
Cultura Associada: Milho / Aveia/ Azevém	90.87	11,54
Campo Nativo Associado à Pecuária de Médio e Grande Porte	223.61	28,39
Pinnus	2.94	0,37
Total	787.73	100

Quadro 6: Classes de cobertura e uso da terra e área ocupada.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **5.1 Conclusões**

Os VANTs vêm sendo amplamente empregados para mapeamentos com diversas aplicações, principalmente em áreas de dimensões reduzidas, em razão de se tratar de um equipamento de baixo custo e de fácil operação se comparado aos aviões tripulados. O VANT Swinglat CAM e os procedimentos adotados se mostraram adequados para a elaboração dos produtos cartográficos propostos. Ademais, uma característica relevante do sistema empregado é o baixo custo e a praticidade de seu uso que não requer uma logística complexa no planejamento e execução dos voos

Os alvos artificiais idealizados e confeccionados também atenderam as necessidades de sinalização, pois foi possível reconhecer o pixel central na maioria das fotografias tomadas. Sendo, assim, estes alvos são apropriados para a função de pontos de controle no ajustamento da aerotriangulação e subterfúgio ao controle de qualidade.

De maneira geral, os objetivos estabelecidos foram alcançados com êxito, portanto, pode-se afirmar que o método de levantamento utilizando o VANT em questão para a elaboração de produtos cartográficos aqui executados (ortofotomosaico, mapa topográfico e mapa de cobertura e uso do solo) é plenamente viável. As ferramentas de controle de qualidade aplicadas evidenciaram que podem ser gerados produtos cartográficos com o grau de precisão mais elevada para os parâmetros, atendendo a legislação vigente. Este fato é comprovado pela elaboração dos produtos cartográficos em escala de 1/815 ou menores, na classe A do PEC-DIGITAL.

A escolha da resolução espacial de 10 cm permitiu o reconhecimento da ampla maioria das feições naturais e humanas, tais como mata nativa, cercas, edificações e postes. Esta alta resolução aliada a precisão superior às normas vigentes dos produtos gerados torna o uso do VANT Swinglet CAM apropriado para diversas aplicações, tais como georreferenciamento de imóveis rurais, delimitação de áreas de preservação permanente, inventário florestal, zoneamento agrícola entre outros. No entanto, deve-se observar as especificidades locais de outras

regiões para aplicação desta metodologia.

Ainda, a resolução espacial das imagens permitiu a elaboração do mapa de cobertura e uso da terra em nível III, com reduzida necessidade de verificação em campo das classes mapeadas no processo de interpretação visual. A escolha deste nível de classificação torna possível o agrupamento das classes para os níveis II e I, facilmente adaptando-se o mapa para diversas formas de apresentação ou necessidades. Pode-se concluir também que o método de interpretação visual é eficaz para o mapeamento temático em imagens de alta resolução para áreas de dimensões reduzidas, pois os alvos são facilmente distinguíveis, reduzindo a necessidade de verificações in loco.

## 5.2 Recomendações

Entre os resultados obtidos, avaliaram-se seis principais considerações de modo a contribuir a futuros trabalhos com equipamentos e metodologia semelhantes. A primeira é relacionada aos alvos artificiais desenvolvidos. Embora o resultado obtido tenha sido bastante adequado na maioria das imagens aéreas, recomenda-se a elaboração dos mesmos com uma proporção menor da cor preta em relação à branca, isto é, um círculo branco menor em relação à área em preto. Este ajuste poderá reduzir o efeito da reflexão difusa ocorrido em algumas das imagens obtidas neste trabalho.

A segunda consideração diz respeito à distribuição de alvos artificiais. Apesar da densa distribuição na área de estudo, apenas cinco alvos foram utilizados como pontos de controle. A qualidade planimétrica alcançada para as finalidades propostas pode ser considerada, porém, a qualidade altimétrica possibilitou a geração de curvas de nível equidistantes em até dois metros. No caso de trabalhos que necessitam de uma maior qualidade altimétrica, sugere-se a utilização de um número maior de pontos de controle bem como a execução de mais testes na configuração do *software* Agisoft PhotoScan, tais como o tipo de superfície selecionada na geração do modelo digital.

A terceira consideração se refere às limitações impostas pela vista área para algumas aplicações em específico, tais como a realização do cadastro de imóveis. As limitações referem-se ao processo de vetorização que ignora o beiral das

edificações, a inexistência de paredes construídas ou a existência de amplas áreas de varanda (Apêndice C), por exemplo. Além disto, o cadastro de imóveis requer avaliações quanto ao tipo de material utilizado na construção das edificações, por exemplo. Devido à necessidade de inúmeras atividades de verificação in loco, sugere-se que o aerolevante seja utilizado apenas para a elaboração da base cartográfica.

Uma quarta consideração se refere à autonomia de voo dos VANTs. No presente trabalho o recobrimento total da área de estudo exigiu a execução de quatro voos em razão da baixa autonomia do VANT utilizado. Tendo em vista a reduzida dimensão da área de estudo (1 km<sup>2</sup>) pode-se considerar que, de maneira geral, a autonomia pode ser insuficiente para mapeamento de áreas com maior extensão. Neste caso, deve-se avaliar a disponibilidade de plataformas com maior autonomia de voo.

Outro fator importante no planejamento do levantamento aéreo é a avaliação prévia das condições meteorológicas, pois o VANT aqui utilizado apresenta baixa resistência ao vento. Devido ao porte deste, muitas fotografias foram tomadas com inclinação inadequada, alterando assim a resposta espectral obtida, dificultando o reconhecimento do centro dos alvos artificiais.

A sexta recomendação se refere à necessidade de alta capacidade de processamento e memória dos computadores. Um melhor resultado em relação ao ortofotomosaico obtido poderia ser alcançado se houvesse sido utilizado no *software* Agisoft PhotoScan a opção de modelo arbitrário para geração do modelo digital do terreno. Porém, esta opção tornou-se inviável devido a indisponibilidade de um computador com capacidade de processamento e de consumo de memória virtual compatível à necessidade do *software* requer.

Em vista do exposto, é evidente que qual seja o método de mapeamento empregado é importante avaliar previamente, além dos custos, a sua finalidade, a precisão requerida e as especificidades da área a ser levantada. Portanto, as técnicas empregadas neste trabalho devem estar associadas e subordinadas a um forte embasamento conceitual, de modo a garantir qualidade ao produto gerado, evitando-se incorrer em resultados inapropriados.

## REFERÊNCIAS

AJIBOLA, I. I; MANSOR, S. B. **UAV-Based Imaging for environmental sustainability - flash floods control perspective**. FIG Working Week, 2013. Abuja, Nigeria. 15 p.

ANDRADE, J.B. **Fotogrametria**. 1. ed. Curitiba: SBEE, 1998.

BENDEA, H. et al. **Mapping of archaeological areas using a low-cost UAV the Augusta Bagiennorum test site**. XXI International CIPA Symposium. 01 the 06 October, 2007. Atenas, Grecia. 06 p.

Bensebaa, K. **Estimação da Resolução Espacial Da Câmera Ccd Dos Satélites Cbers 1 E 2**. Tese De Doutorado Em Computação Aplicada, INPE, São José Dos Campos, SP, 2006.

BRASIL, **Decreto 89917 de 20 de junho de 1984**. Reguladores das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1980-1989/D89817.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm)>. Acessado em 10 de ago. 2015.

BRASIL, **Lei nº 10.267, de 28 de agosto de 2001**. Altera dispositivos das Leis nos 4.947, de 6 de abril de 1966, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 6.739, de 5 de dezembro de 1979, 9.393, de 19 de dezembro de 1996. e dá outras providências. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis /LEIS\\_2001/L10267.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis /LEIS_2001/L10267.htm)>. Acessado em 10 de ago. 2015.

BRASIL, **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989 e dá outras providências. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm)>. Acessado em 10 de ago. 2015.

BRASIL, **Lei nº 9.393, de 19 de dezembro de 1996**. Dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural - ITR, sobre pagamento da dívida representada por Títulos da Dívida Agrária e dá outras providências. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9393.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9393.htm)>. Acessado em 10 de ago. 2015.

CANON. 2011. **Camera User Guide**. Disponível em: <[http://gdlp01.c-wss.com/gds/6/0300004756/01/PSELPH300HS\\_IXUS220HS\\_CUG\\_EN\\_02.pdf](http://gdlp01.c-wss.com/gds/6/0300004756/01/PSELPH300HS_IXUS220HS_CUG_EN_02.pdf)> Acesso em: 20 jun. 2015.

COELHO, L. Brito, J.N. **Fotogrametria Digital**. Rio de Janeiro. EdUERJ. 2007

CONAMA. Resoluções nº 302 e 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30202.html>>. Acesso em 10 de ago. 2015.

D'OLEIRE, O, et al **UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) FOR MONITORING SOIL EROSION IN MOROCCO**. Journal of Remote Sensing. Vol. 04. Publicado: 7 de novembro de 2012. 27p.

DIAS, G. M., PETER, J. C., PEREIRA, M., **Levantamento de limites de imóvel rural com uso de VANT, Eldorado do Sul – RS**. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do grau de Engenharia Cartográfica, Porto Alegre, 2014.

DSG, **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais**, 2008.

EMBRAPA. **O Novo Mapa de Solos**. 2011. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2062813/solo-brasileiro-agora-tem-mapeamento-digital>> Acesso em: 20 jun. 2015.

ENGINEERGUY, 2012. **CCD: The heart of a digital camera (how a charge-coupled device works)**, Vídeo, disponível em:<<http://www.engineerguy.com/elements/videos/videos.htm>>. Acessado em: 24 de novembro de 2014.

IBGE, **Recomendações Para Levantamentos Relativos Estáticos – Gps**. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Meio Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

JÚNIOR, J. B. N. **CONTROLE DE QUALIDADE DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS**. Dissertação de Mestrado. UNESP. Presidente Prudente, 2003.

KUINCHTNER, A. BURIOL, G. A. **Clima do Estado do Rio Grande do Sul Segundo a Classificação Climática de Köppen e Thornthwaite**. Disciplinarium Scientia, v. 2, n.1, p. 171

LONGHITANO, G. **Vants Para Sensoriamento Remoto**: Aplicabilidade na avaliação de Monitoramento de Impactos Ambientais causados por Acidentes com Cargas Perigosas. (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

LUGNANI, J. B. **Introdução à Fototriangulação**. Curitiba: UFPR, 1987.

MATIAS, G. R. M., Silveira, P. G., Guzatto, M. P. **Mapeamento Topográfico Cadastral por Integração de Imagens Adquiridas com VANT a Técnicas Tradicionais**. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do grau de Engenharia Cartográfica, Porto Alegre, 2014.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento Pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: UNESP, 2008.

MORENO, L. **Teoria da Cor. Contraste de Cor**. 2008. Disponível em: <[http://www.criarweb.com/artigos/images/desenho/5/contraste\\_9.gif](http://www.criarweb.com/artigos/images/desenho/5/contraste_9.gif)>. Acesso em: 20 jun. 2015.

MUKHERJEE, A. VELEZ, R. M., ROYSAM, B. **Interest points for hyperspectral image data.** *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 47, n.3, 2009.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações.** Ed. Edgard Blucher Ltda, 3ª Edição, São Paulo, 2008. 363 p.

PANASONIC. 2010. **Basic Operating Instructions.** Disponível em: <<http://panasonic.ae/en/manuals/DMC-FH1.pdf>> Acesso em: 20 jun. 2015.

PATROCÍNIO, R. B. **Análise Quantitativa De Pontos De Controle Para Correção Geométrica De Imagens Orbitais.** Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Centro Estadual de Pesquisas Em Sensoriamento Remoto E Meteorologia. Porto Alegre, RS. 2009

ROBERTO, A. J. **Extração de Informação Geográficas a Partir de Fotografias Aéreas Obtidas Com VANTs Para Apoio a um Sig Municipal.** Dissertação De Mestrado Em Sistemas De Informação Geográfica. Universidade Do Porto, Portugal, 2013.

ROCHA, R. S. **Exatidão Cartográfica Para as Cartas Digitais Urbanas.** Tese De Doutorado Em Engenharia De Produção. Ufsc. Florianópolis, Sc, 2002.

SELPLAG. **Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul.** 2002. Disponível em: <<http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/>> Acesso em: 20 jun. 2015.

SILVA NETO, M. Uso de drone na mineração. **Agrimensor do futuro.** 2014. Disponível em: <<http://www.agrimensordofuturo.com/post.cfm?post=USO%20DO%20DRONE%20NA%20MINERA%C3%87%C3%83O&id=55>>. Acesso em: 17 mai. 2015.

TIMBÓ, M.A. **Elementos de cartografia.** Curso de Geoprocessamento. Departamento de Cartografia. Universidade Federal de Minas Gerais, 2001. Disponível em <[www.csr.ufmg.br/cart01/elementoscartografia\\_timbo.pdf](http://www.csr.ufmg.br/cart01/elementoscartografia_timbo.pdf)> Acessado em 8 de agosto de 2015.

TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria Básica.** 2009. Disponível em: <[http://www4.fct.unesp.br/docentes/cart0/tomaseli/Fotogrametria\\_1/apostila.php](http://www4.fct.unesp.br/docentes/cart0/tomaseli/Fotogrametria_1/apostila.php)>. Acessado em: 10 de agosto de 2015.

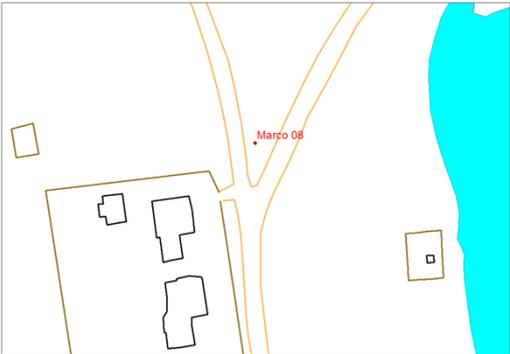
TOPCON. 2004. **Hiper Operator's Manual.** Disponível em: <[http://microgeo.cl/media/productos/descargas/Topcon\\_Hiper\\_lite.pdf](http://microgeo.cl/media/productos/descargas/Topcon_Hiper_lite.pdf)> Acesso em: 20 jun. 2015.

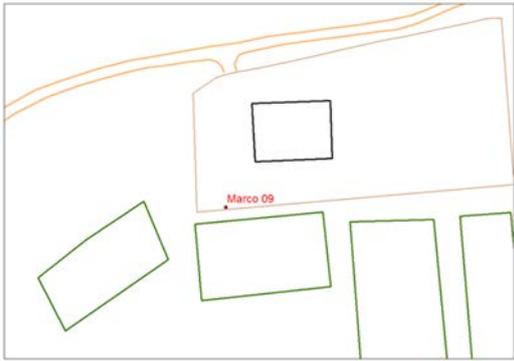
VIVA MORAR. **Contraste de Cores.** Disponível em: <<http://www.morar.com/vivamorar/2013/08/contrastes-de-cores-para-ambientes-mais-dinamicos.html>>. Acesso em: 20 jun. 2015.

WANG, W.Q.; PENG, Q.; CAI, J. **Waveform-diversity-based millimeter-wave UAV SAR Remote Sensing.** *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 46, n.3, 2009.

ZHOU, G., AMBROSIA, V., GASIEWSKI, A.J. & BLAND, G. **Foreword to the Special Issue on Unmanned Airborne Vehicle (UAV) Sensing Systems for Earth Observations.** IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 47, 687-689. 2009.

## APÊNDICE A: Monografia dos Marcos Geodésicos

VÉRTICE DE APOIO		
<b>Código do Vértice:</b> M008	<b>Localidade:</b> Estação Agrônômica	<b>Município/UF:</b> Eldorado do Sul– RS
<b>Responsáveis Técnicos pela determinação das coordenadas:</b> Gilda Maria Dias, Jeanine Peter e Marcelo Pereira		<b>Código do Credenciado:</b>
<b>Sistema Geodésico de Referência:</b> SIRGAS2000		<b>Data das Observações:</b> 17, 19 e 20/09/2014
COORDENADAS ELIPSOIDAIAS	COORDENADAS PLANAS UTM	PRECISÕES
Latitude ( $\lambda$ ) = -30°05'50,59143"S	N = 6670229,928m	$\delta(\varphi) = 0,006m$
Longitude ( $\varphi$ ) = -51°40'38,20220" W	E = 434741,180m	$\delta(\lambda) = 0,006m$
Altitude Elipsoidal (h) = 53,899m	MC = 51°W	$\delta(h) = 0,014m$
<b>Localização:</b>  	<b>Fotografia do Marco</b>  	
	<b>Estações de Referência utilizadas:</b>  Porto Alegre – POAL - SAT Santa Maria – SMAR – SAT 92013	
<b>Descrição:</b> O marco é uma estrutura em “L” de concreto, fixado ao solo, com afloramento de 15 cm da superfície e com chapa metálica identificadora no topo	<b>Equipamento utilizado:</b>  Marca: Hiper Modelo: GR-3 Número de Série:	

<b>VÉRTICE DE APOIO - M09</b>		
Imóvel: Estação Experimental Agrônômica da UFRGS		Município/UF: Arroio dos Ratos/RS
Sistema Geodésico de Referência: SIRGAS2000		
<b>COORDENADAS</b>		
Planas (UTM)	Elipsoidais	Sigmas
N= 6670607,177m	Latitude ( $\varphi$ )= 30°05'38,36416"S	$\delta(\varphi)$ = 0,006m
E= 434886,626m	Longitude ( $\lambda$ )= 51°40'32,68501"W	$\delta(\lambda)$ = 0,007m
MC= 51°W	Altitude Elipsoidal (h)= 55,563m	$\delta(h)$ = 0,014m
<b>LOCALIZAÇÃO</b>		
Fotografia do Vértice		Croqui de Localização
		
<b>Itinerário:</b>		
<b>Descrição:</b>		
O marco é uma estrutura em "L" de concreto, fixado ao solo, com afloramento de 15cm da superfície e com chapa metálica identificadora no topo.		
<b>Estações de referências utilizadas</b>		<b>Equipamento utilizado:</b>
Porto Alegre – POAL – SAT Santa Maria – SMAR – SAT 92013		Marca: Hiper Modelo: GR-3 Número de Série:
<b>Responsável Técnico:</b>		<b>Data:</b>
Gilda Maria Dias Jeanine Peter Marcelo Pereira		20 de setembro de 2014

## APÊNDICE B: Resultados

Tabla de Correção das Altitudes					
Ponto	Latitude	Longitude	Altitude GNSS	Ondulação Geoidal	Altitude Ortométrica
2	-30,0955009191	-51,679971569	43,073	5,93	37,143
3	-30,0956883301	-51,678035082	47,074	5,93	41,144
4	-30,0957977013	-51,6757999775	50,657	5,92	44,737
5	-30,095787074	-51,6743443557	55,293	5,92	49,373
6	-30,0957664601	-51,6726713365	52,288	5,92	46,368
11	-30,0929435092	-51,6727003981	52,236	5,91	46,326
12	-30,0945426007	-51,6724391299	47,355	5,91	41,445
13	-30,0940433415	-51,6741368932	47,434	5,92	41,514
14	-30,0947797471	-51,6766465086	53,535	5,92	47,615
15	-30,0938184374	-51,6785134618	44,346	5,92	38,426
16	-30,0936544766	-51,6800831388	41,158	5,93	35,228
17	-30,0928908026	-51,6782181273	36,667	5,92	30,747
18	-30,0924784833	-51,6766403384	40,085	5,92	34,165
19	-30,092245766	-51,6749090357	41,738	5,91	35,828
20	-30,0910265064	-51,6725755338	46,543	5,9	40,643
21	-30,0911444736	-51,6743691391	36,558	5,91	30,648
22	-30,0893109226	-51,672591282	33,347	5,9	27,447
23	-30,0876517909	-51,6702981666	34,471	5,89	28,581
24	-30,0867768292	-51,6730252296	30,989	5,89	25,099
25	-30,0858270868	-51,6747243089	34,724	5,89	28,834
26	-30,087718867	-51,6758722893	33,441	5,9	27,541
27	-30,0874976187	-51,6781606107	31,819	5,91	25,909
28	-30,0877039352	-51,6797829167	34,117	5,91	28,207
29	-30,0892157126	-51,6801733038	33,336	5,91	27,426
30	-30,0891947231	-51,6781184889	32,264	5,91	26,354
31	-30,0890607151	-51,6761707581	32,7	5,91	26,79
32	-30,0892030659	-51,6742105933	32,113	5,9	26,213
33	-30,0908359455	-51,6760452697	34,153	5,91	28,243
34	-30,0923962421	-51,6802004665	34,28	5,92	28,36
35	-30,0907911061	-51,6796952767	35,714	5,92	29,794
1	-30,0957437751	-51,6708705469	34,947	5,91	29,037
2ida3	-30,0925981109	-51,6724705739	55,194	5,91	49,284
3ida3	-30,0889034263	-51,6711142649	34,501	5,9	28,601
4ida3	-30,0877336764	-51,6723850653	32,214	5,9	26,314
5ida3	-30,087736329	-51,67437971	34,485	5,9	28,585

Tabela de Erros dos Valores Estipulados Pelo VANT

# Label	Error (m)	Error (deg)	Yaw error	Pitch error	Roll error
IMG_5361.JPG	4,483744	32,494091	-6,254656	-2,849034	-31,758908
IMG_5362.JPG	4,956608	58,563409	-4,08425	-4,491518	-58,247902
IMG_5363.JPG	5,093171	68,374132	-11,2975	-6,292345	-67,140114
IMG_5364.JPG	3,525369	11,889882	-9,739525	-0,630546	-6,790683
IMG_5365.JPG	3,649344	75,320594	-13,229253	-3,195914	-74,0808
IMG_5366.JPG	3,97978	65,157049	-11,219588	-3,294076	-64,099227
IMG_5367.JPG	3,703867	43,582184	-6,957994	-1,993831	-42,976944
IMG_5368.JPG	5,653502	42,906465	-16,070583	-1,82527	-39,741282
IMG_5369.JPG	4,895888	29,688864	-1,703394	-3,77421	-29,398681
IMG_5370.JPG	4,489815	51,392152	1,0514	1,555358	-51,357849
IMG_5377.JPG	5,935916	7,550925	5,528249	-2,018739	-4,730711
IMG_5378.JPG	5,652098	43,185473	7,227175	-3,330767	-42,445954
IMG_5379.JPG	6,080604	43,768751	6,476917	-4,757526	-43,024633
IMG_5380.JPG	7,014837	42,82506	3,835037	-1,50552	-42,62642
IMG_5381.JPG	5,95077	12,715007	3,276531	-4,218141	-11,538763
IMG_5382.JPG	5,427071	18,09206	-2,553904	-2,358022	-17,754998
IMG_5383.JPG	5,471194	31,941287	4,694206	-2,385166	-31,504305
IMG_5384.JPG	7,336188	6,571028	5,914536	-2,684945	0,993857
IMG_5385.JPG	5,571575	68,874333	12,3339	-2,423596	-67,717611
IMG_5386.JPG	7,176777	37,176328	10,613476	-2,858439	-35,514263
IMG_5391.JPG	3,659838	40,602738	-10,53115	-3,388403	-39,066558
IMG_5392.JPG	4,980265	25,090908	-8,195287	-4,55075	-23,274055
IMG_5393.JPG	4,860214	44,125428	-6,354419	-4,263581	-43,456836
IMG_5394.JPG	4,299744	60,709114	-5,006477	-1,001876	-60,494033
IMG_5395.JPG	7,030755	75,439829	-30,621377	-2,977097	-68,881318
IMG_5396.JPG	6,416178	97,104218	-7,548812	-2,647147	-96,774156
IMG_5397.JPG	4,71567	25,165036	-5,581353	-1,537723	-24,490058
IMG_5398.JPG	5,318283	96,40931	-20,21609	-1,329341	-94,256553
IMG_5399.JPG	5,070469	24,745835	-8,701183	-2,738334	-23,003201
IMG_5400.JPG	6,305748	97,526244	-5,308122	-2,457781	-97,350662
IMG_5401.JPG	7,114865	93,318347	-8,934461	-2,853647	-92,845818
IMG_5408.JPG	10,398068	23,931784	10,636991	-0,924064	-21,418002
IMG_5409.JPG	7,023924	68,7324	5,677679	-3,981598	-68,381676
IMG_5410.JPG	7,197488	19,774134	11,563656	-2,3994	-15,860048
IMG_5411.JPG	6,050866	71,258075	2,442562	-4,022353	-71,102516
IMG_5412.JPG	6,843207	22,17489	8,017394	-0,636461	-20,664996
IMG_5413.JPG	6,879155	68,57309	9,400903	-5,206752	-67,725782
IMG_5414.JPG	7,034382	53,201412	7,872996	-0,718022	-52,610746
IMG_5415.JPG	7,173742	92,93412	5,348735	-6,306233	-92,565507
IMG_5416.JPG	6,368019	65,694183	3,934535	-2,981233	-65,508453
IMG_5437.JPG	9,016314	88,434116	22,773012	-3,543001	-85,378158
IMG_5438.JPG	7,828171	100,696125	3,423179	-3,37983	-100,581152
IMG_5439.JPG	7,592629	79,534941	16,764199	1,420153	-77,735138
IMG_5440.JPG	6,834025	15,194324	12,893543	-3,792683	-7,087987
IMG_5441.JPG	6,098223	40,348502	12,895704	-5,292312	-37,864151
IMG_5442.JPG	7,214752	57,399417	14,657805	-4,164182	-55,339872

IMG_5443.JPG	7,878565	99,812856	2,610415	-4,535782	-99,675567
IMG_5444.JPG	7,499606	15,731619	9,344407	-4,60233	-11,789167
IMG_5445.JPG	9,271053	89,618319	5,928792	-4,325267	-89,317325
IMG_5446.JPG	5,89848	20,840834	1,934945	-6,967159	-19,546228
IMG_5447.JPG	8,904301	21,511519	-10,563846	-7,538813	-17,155667
IMG_5448.JPG	7,140593	85,178913	-7,587549	-3,763276	-84,756794
IMG_5449.JPG	6,821341	22,827511	-9,831443	-5,938447	-19,727464
IMG_5450.JPG	6,546424	68,489211	-23,359753	-4,963236	-64,190811
IMG_5451.JPG	7,580332	42,360916	-15,447118	-4,249281	-39,214505
IMG_5452.JPG	6,426055	16,183616	-10,689934	-5,988681	-10,572155
IMG_5453.JPG	5,847811	11,072322	-10,262541	-4,123683	-0,52134
IMG_5454.JPG	4,869044	35,812438	-8,75282	-0,254983	-34,725407
IMG_5455.JPG	4,896265	101,607531	-16,494764	-2,339287	-100,232434
IMG_5456.JPG	5,245941	49,457178	-9,567414	-7,296869	-47,971165
IMG_5457.JPG	5,662029	45,069566	-24,379989	-8,011885	-37,049853
IMG_5463.JPG	8,386205	37,77121	15,977296	-4,587135	-33,916789
IMG_5464.JPG	5,898045	33,94632	15,772626	-4,640041	-29,699275
IMG_5465.JPG	5,794798	58,636909	8,09741	-5,075581	-57,852896
IMG_5466.JPG	8,254149	33,936233	7,052556	-2,991423	-33,060259
IMG_5467.JPG	9,477265	49,555952	5,296644	-4,56259	-49,060378
IMG_5468.JPG	6,613221	59,171155	13,882183	-4,228513	-57,364016
IMG_5469.JPG	6,738364	79,430256	8,501518	-4,273741	-78,858258
IMG_5470.JPG	5,746645	59,034717	8,880568	-3,603662	-58,251583
IMG_5471.JPG	6,6439	11,204018	8,48986	0,233377	-7,307383
IMG_5472.JPG	5,649006	85,726774	13,232415	-8,5107	-84,270701
IMG_5473.JPG	6,594178	49,608524	-3,253073	-3,559053	-49,373639
IMG_5474.JPG	6,163241	13,883677	-10,80896	0,905827	-8,666162
IMG_5475.JPG	10,124383	85,383867	-3,212424	-6,685976	-85,061053
IMG_5476.JPG	5,914046	41,064083	-15,196919	-0,005013	-38,148559
IMG_5477.JPG	7,660601	74,941387	-6,787302	-6,694177	-74,332577
IMG_5478.JPG	8,130712	7,940511	-0,467377	-4,255327	-6,68771
IMG_5479.JPG	7,51408	17,168804	-8,106333	-6,799427	-13,521205
IMG_5480.JPG	7,567696	30,710834	-13,550197	-4,453567	-27,19767
IMG_5481.JPG	7,054332	60,849905	-13,154048	-6,614791	-59,041735
IMG_5482.JPG	6,637065	46,83766	-5,537684	-7,128353	-45,959624
IMG_5483.JPG	6,604697	75,374582	-0,226765	-5,269747	-75,189799
IMG_5489.JPG	6,494204	22,446133	-20,299689	-5,970941	-7,489953
IMG_5490.JPG	6,432858	17,842805	-16,349256	-0,221635	7,142716
IMG_5491.JPG	9,914401	85,70382	-7,631278	3,798271	-85,278845
IMG_5492.JPG	6,8603	97,113223	-25,889192	-0,958604	-93,593851
IMG_5493.JPG	6,198516	27,035545	-20,696962	-0,890614	-17,371335
IMG_5494.JPG	6,142406	73,795335	-26,186785	-4,137234	-68,868621
IMG_5495.JPG	6,980048	71,739614	-20,170635	-1,286829	-68,83358
IMG_5496.JPG	7,652225	22,431292	8,006011	1,60018	-20,892728
IMG_5497.JPG	5,982333	23,032096	22,027641	-4,86591	-4,645794
IMG_5498.JPG	7,866712	87,188944	32,615916	5,180597	-80,692475
IMG_5499.JPG	5,787176	72,8929	14,701543	9,51106	-70,758599
IMG_5500.JPG	4,887107	73,126214	31,450666	-1,977305	-65,987795
IMG_5501.JPG	5,37486	21,654587	21,155382	-4,210625	-1,908296

IMG_5502.JPG	6,889957	49,467978	48,32616	2,226381	-10,329874
IMG_5503.JPG	19,001657	79,891232	-1,608066	-4,584103	-79,743396
IMG_5504.JPG	8,699841	99,304259	-41,366748	-16,38396	-88,778905
IMG_5505.JPG	7,463674	107,734882	-33,647652	-4,780498	-102,233983
IMG_5506.JPG	9,085835	76,621928	-26,599622	-2,671339	-71,80699
IMG_5507.JPG	9,050851	99,883282	-25,175775	-4,788833	-96,539719
IMG_5508.JPG	7,009231	68,485178	-22,064142	-3,455292	-64,741441
IMG_5509.JPG	6,938589	90,722088	-14,168397	-1,416381	-89,597699
IMG_5510.JPG	7,380536	44,608379	-25,725125	-3,413279	-36,28326
IMG_5511.JPG	-7,191062	44,430406	2,490591	4,160081	
IMG_5512.JPG	5,984004	52,840555	29,478056	-0,366577	-43,852413
IMG_5513.JPG	6,352054	28,758557	26,730374	-4,258312	-9,716402
IMG_5514.JPG	5,406824	102,055036	30,603417	-5,729275	-97,189694
IMG_5515.JPG	6,451669	87,254495	39,07502	-1,055974	-78,008812
IMG_5516.JPG	6,972598	76,413442	26,100717	-1,032484	-71,810171
IMG_5517.JPG	7,477223	49,611467	23,931425	-2,169559	-43,403658
IMG_5518.JPG	7,289999	24,529631	23,088242	-4,02772	-7,239707
IMG_5519.JPG	6,476603	41,640132	-23,664358	-1,801551	-34,214809
IMG_5520.JPG	7,966895	29,583599	-29,113308	2,431589	-4,65747
IMG_5521.JPG	10,525971	63,253085	-29,11431	-0,733874	-56,149542
IMG_5522.JPG	7,829442	37,948349	-34,81215	-2,647731	-14,872154
IMG_5523.JPG	7,66362	77,230508	-27,676751	-2,140934	-72,06917
IMG_5524.JPG	8,696732	44,17799	-34,694208	-1,041586	-27,329871
IMG_5525.JPG	8,067206	31,480877	-24,055223	-5,034134	-19,67357
IMG_5526.JPG	6,560856	29,046238	20,576047	-2,086867	-20,39498
IMG_5527.JPG	7,884198	93,977742	33,351188	-0,011958	-87,860765
IMG_5528.JPG	7,207813	68,092051	21,035605	1,047991	-64,752856
IMG_5529.JPG	5,568298	33,142879	32,771892	-4,327258	-2,393399
IMG_5530.JPG	5,484825	76,050015	38,791613	1,55923	-65,39407
IMG_5531.JPG	5,981808	33,206604	30,870332	-3,664196	-11,67368
IMG_5532.JPG	6,85345	101,955652	43,273264	-4,42479	-92,210633
IMG_5533.JPG	6,236563	40,273617	33,316836	-2,89424	-22,4405
IMG_5534.JPG	8,837988	47,340998	-41,957511	-2,042871	-21,830346
IMG_5535.JPG	8,200902	39,795871	-33,678784	-3,277105	-20,94544
IMG_5536.JPG	6,906557	105,313323	-37,682732	-1,283515	-98,332397
IMG_5537.JPG	7,665358	45,900706	-45,846454	-1,858658	-1,23405
IMG_5538.JPG	7,675217	78,14144	-44,282719	-2,599177	-64,330162
IMG_5539.JPG	8,888453	43,80367	-26,466392	-1,893896	-34,852614
IMG_5540.JPG	7,46057	79,442324	-24,694267	-1,990468	-75,480554
IMG_5562.JPG	6,746374	44,003593	-33,754531	-5,919052	-27,602766
IMG_5563.JPG	6,559262	48,064038	-31,696178	-5,637005	-35,689329
IMG_5564.JPG	7,211392	81,299558	-35,022825	-2,348402	-73,331472
IMG_5565.JPG	6,683422	52,01675	-34,576223	-4,87749	-38,55434
IMG_5566.JPG	7,389896	66,079137	-30,360849	-4,076696	-58,549566
IMG_5567.JPG	6,765367	104,284478	31,890867	-3,183669	-99,237539
IMG_5568.JPG	5,586613	65,582444	28,262229	-0,892532	-59,173531
IMG_5569.JPG	5,545261	50,193692	49,457037	-5,955203	-6,159851
IMG_5570.JPG	5,787617	45,757075	40,136893	-4,166485	-21,572672
IMG_5571.JPG	6,948764	80,806362	29,115172	-5,038941	-75,210265

IMG_5572.JPG	6,602952	33,099264	32,816858	-3,128681	-2,970943
IMG_5573.JPG	6,121203	51,537349	34,024828	-4,314962	-38,468045
IMG_5579.JPG	8,673673	101,546634	-44,557033	-14,614533	-90,071111
IMG_5580.JPG	7,104694	36,588886	-36,188323	-4,757461	2,553113
IMG_5581.JPG	6,705997	37,038834	-32,869497	-17,036007	-1,116197
IMG_5582.JPG	7,054685	96,733679	-36,121022	-4,857027	-89,605166
IMG_5583.JPG	6,717465	48,558992	-38,568741	-4,690237	-29,127814
IMG_5584.JPG	6,945	63,158092	-30,871606	-5,427626	-54,830917
IMG_5585.JPG	7,09939	36,316631	31,806677	-4,780525	-16,863558
IMG_5586.JPG	6,738036	87,958125	36,168871	-0,545552	-80,175726
IMG_5587.JPG	5,854164	44,647743	35,664543	-3,536364	-26,626217
IMG_5588.JPG	5,912899	95,972502	42,756787	-2,379118	-85,888987
IMG_5589.JPG	5,167566	54,806588	35,054127	-1,312024	-42,109962
IMG_5590.JPG	6,207866	31,565606	25,162971	-3,634515	-18,708357
IMG_5597.JPG	5,781989	50,599774	-21,808333	-3,971174	-45,485861
IMG_5598.JPG	7,604225	88,638442	-21,786147	-2,594767	-85,880174
IMG_5599.JPG	6,889112	90,824988	-31,344332	-17,576415	-83,413314
IMG_5600.JPG	7,063959	90,533201	-31,237889	-2,151509	-84,946017
IMG_5601.JPG	7,05261	34,504722	-34,175956	-4,698592	-0,709299
IMG_5602.JPG	5,990392	88,398474	35,728535	-3,51949	-80,779794
IMG_5603.JPG	5,312188	71,343884	32,848343	-4,553237	-63,168063
IMG_5604.JPG	4,654769	88,297456	23,521914	-4,961842	-84,961994
IMG_5605.JPG	6,419202	81,385946	25,582064	-6,181478	-77,013113
IMG_5606.JPG	5,805411	69,205979	22,645379	-3,339775	-65,310797
IMG_5607.JPG	5,116557	58,213402	23,993342	-1,310484	-53,022659
IMG_5615.JPG	6,134693	84,114128	-16,686785	-3,044362	-82,386101
IMG_5616.JPG	6,244667	25,297526	-22,869405	-3,235506	-10,319236
IMG_5617.JPG	5,967931	47,874928	-33,566263	-5,370717	-33,711573
IMG_5618.JPG	7,419803	51,158109	-34,952776	-1,630863	-37,320181
IMG_5619.JPG	5,817468	56,208108	-34,694486	-4,135329	-44,028889
Erro máximo	19,001657				
Erro médio	6,631655517				

## Calibração da Câmera CANON IXUS 220HS

Parâmetros de Calibração	
Canon Ixus 220HS	
pixel size (mm)	0,0015494
fx	2821,06
fy	2821,43
cx	1997,99
cy	1460
skew	0,0146398
k1	-0,0348567
k2	-0,0128123
k3	0,0619898
k4	-0,0407171
p1	-0,00316925
p2	-0,000339087

## Resultados do Ajustamento do Levantamento GNSS

Adjustment	
Control Tie Analysis: success	
Adjustment type: Plane + Height, Constraint	
Confidence level: 95 %	
Number of adjusted points: 39	
Number of plane control points: 3	
Number of plane weighted points: 2	
Number of used GPS vectors: 84	
Number of rejected GPS vectors by plane: 16	
A posteriori plane or 3D UWE: 1,321816 , Bounds: ( 0,8269681 , 1,172654 )	
Number of height control points: 3	
Number of height weighted points: 2	
Number of rejected GPS vectors by height: 16	
A posteriori height UWE: 0,6147343 , Bounds: ( 0,7557864 , 1,243529 )	
Identical Points	
<b>Point 1</b>	
no data met	
Localization Points	
<b>WGS Point</b>	<b>Ht Residual (m)</b>
no data met	

### Point Summary

Name	Std Dev n (m)	Std Dev e (m)	Std Dev Hz (m)	Std Dev u (m)	Vetor desvio padrão
1	0,007	0,007	0,01	0,014	0,014071247
2	0,012	0,011	0,016	0,02	0,022825424
2ida3	0,016	0,017	0,024	0,042	0,033481338
3	0,01	0,01	0,014	0,021	0,019899749
3ida3	0,017	0,012	0,021	0,027	0,029563491
4	0,011	0,011	0,016	0,023	0,022315914
4ida3	0,011	0,009	0,014	0,017	0,019949937
5	0,011	0,011	0,015	0,023	0,021610183
5ida3	0,011	0,01	0,015	0,019	0,021118712
6	0,015	0,012	0,019	0,026	0,027018512
6ida3	0,012	0,01	0,016	0,021	0,02236068
11	0,01	0,01	0,014	0,035	0,019899749
12	0,014	0,013	0,019	0,037	0,026944387
13	0,008	0,01	0,013	0,021	0,018248288
14	0,009	0,008	0,012	0,019	0,017
15	0,012	0,011	0,016	0,024	0,022825424
16	0,02	0,016	0,025	0,032	0,03579106

17	0,021	0,017	0,028	0,038	0,038910153
18	0,021	0,02	0,029	0,043	0,041012193
19	0,009	0,008	0,012	0,017	0,017
20	0,018	0,017	0,025	0,034	0,035185224
21	0,017	0,016	0,024	0,038	0,033481338
22	0,012	0,015	0,019	0,034	0,027018512
23	0,008	0,011	0,014	0,02	0,019519221
24	0,009	0,01	0,014	0,022	0,019416488
25	0,011	0,014	0,017	0,027	0,024617067
26	0,008	0,009	0,011	0,017	0,016309506
27	0,012	0,009	0,015	0,028	0,021213203
28	0,016	0,011	0,02	0,029	0,02787472
29	0,009	0,009	0,013	0,02	0,018193405
30	0,008	0,008	0,012	0,016	0,016492423
31	0,019	0,017	0,026	0,033	0,036414283
32	0,02	0,017	0,026	0,032	0,036945906
33	0,029	0,032	0,043	0,055	0,060942596
34	0,01	0,011	0,015	0,019	0,021118712
35	0,01	0,012	0,015	0,02	0,021656408
C	0,006	0,007	0,009	0,014	0,012884099
C2	0,006	0,006	0,008	0,014	0,011661904
				Máximo	0,060942596
				Média	0,025073459

Qualidade Ortofoto	
PONTO	ERRO
33	0,1666
20	0,2259
3	0,114
4	0,1468
5	0,15815
6	0,095
11	0,099
12	0,1565
13	0,1479
14	0,0486
15	0,0827
16	0,12366
17	0,0478
18	0,09854
21	0,12725
22	0,1512
24	0,0824
26	0,1248
27	0,112316
29	0,1135
30	0,11799
31	0,130886
32	0,069373
4ida3	0,163972
34	0,1038
35	0,11413
3ida3	0,05
5ida3	0,047
Média	0,108741
Erro Máximo (90%)	0,1565
Desvio Padrão	0,1222

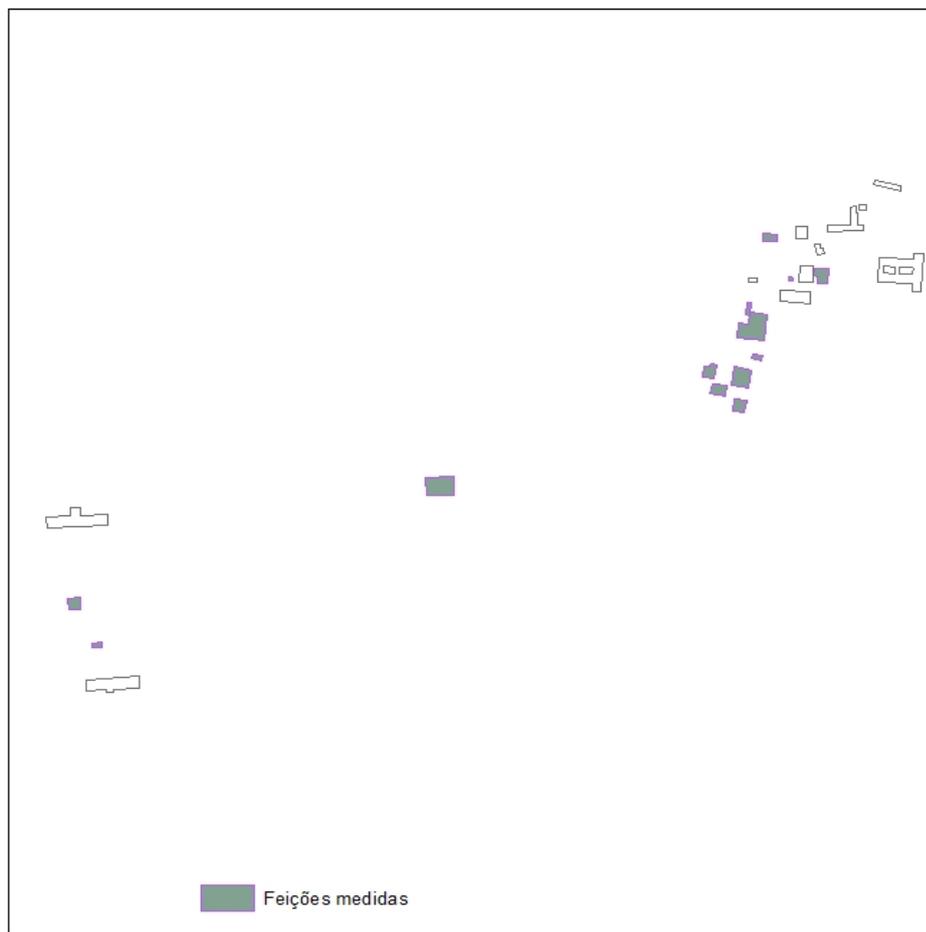
TABELA DE ERROS DAS VETORIZAÇÕES			
Medida em campo	Vetorização	Diferença	Diferença /m
17,55	18,08	0,53	0,03019943
26,21	25,53	-0,68	-0,025944296
10,72	11,12	0,4	0,037313433
11,41	11,48	0,07	0,006134969
8,43	8,22	-0,21	-0,024911032
11,78	11,74	-0,04	-0,003395586
6,32	6,45	0,13	0,02056962
5,54	5,4	-0,14	-0,025270758
11,04	11,07	0,03	0,002717391
11,91	12,02	0,11	0,009235936
		-	
2,137445887	2,13	0,007445887	-0,003483544
12,62	12,56	-0,06	-0,004754358
4,56	4,49	-0,07	-0,015350877
8,98	9	0,02	0,002227171
3,68	3,58	-0,1	-0,027173913
13,92	13,91	-0,01	-0,000718391
9,84	9,61	-0,23	-0,023373984
16,99	16,54	-0,45	-0,026486168
17,21	17,46	0,25	0,014526438
12,18	12,12	-0,06	-0,004926108
11,9	11,5	-0,4	-0,033613445
		Máximo (90 %)	0,02056962

**CONTROLE DE QUALIDADE DAS CURVAS DE NÍVEL**

Ponto de controle	Altura GPS	Cota Referência	Distância entre as curvas	Distância entre a menor e o ponto	Interpolado	Erro
2	37,143000000000000	38	55,37	14,85	37,4636084522	0,3206084522
3	41,144000000000000	42	19,3	5	41,481865285	0,337865285
4	44,737000000000000	44	26,31	9,52	44,7236792094	- 0,0133207906
5	49,373000000000000	49	97,44	25	49,513136289	0,140136289
6	46,368000000000000	46	82,81	17,87	46,4315903876	0,0635903876
11	46,326000000000000	46	81,2	31,49	46,7756157635	0,4496157635
12	41,445000000000000	42	26,55	3,72	41,7197740113	0,2747740113
13	41,514000000000000	42	10,31	1,96	41,6197866149	0,1057866149
14	47,615000000000000	46	28,78	24	47,6678248784	0,0528248784
15	38,426000000000000	38	22,3	7,74	38,6941704036	0,2681704036
16	35,228000000000000	36	12,73	2,78	35,5632364493	0,3352364493
17	30,747000000000000	30	63,44	24,34	30,7673392182	0,0203392182
18	34,165000000000000	34	20,78	1,76	34,1693936477	0,0043936477
19	35,828000000000000	36	24,6	0,52	35,9577235772	0,1297235772
20	40,643000000000000	40	18,75	8,5	40,9066666667	0,2636666667
21	30,648000000000000	30	94,62	28,21	30,5962798563	- 0,0517201437
22	27,447000000000000	28	72,72	28,31	27,2213971397	- 0,2256028603
23	28,581000000000000	28	83,26	19,36	28,4650492433	- 0,1159507567
24	25,099000000000000	24	175,82	66,41	24,7554316915	- 0,3435683085
26	27,541000000000000	28	108,91	22,95	27,5785510972	0,0375510972
27	25,909000000000000	26	102,38	23,09	25,5489353389	- 0,3600646611
28	28,207000000000000	28	77,13	6,13	28,158952418	-0,048047582
29	27,426000000000000	28	33,38	3,38	27,7974835231	0,3714835231
30	26,354000000000000	26	424,23	186,79	26,8806072178	0,5266072178
31	26,790000000000000	26	193,35	153,66	27,5894491854	0,7994491854
32	26,213000000000000	26	241,09	46,92	26,3892322369	0,1762322369
33	28,243000000000000	28	265,04	132,08	28,9966797465	0,7536797465
35	29,794000000000000	30	69,27	25,02	29,2776093547	- 0,5163906453
1	29,037000000000000	30	16,41	5,08	29,380865326	0,343865326
4ida3	26,314000000000000	26	183,33	41,69	26,4548082692	0,1408082692
5ida3	28,585000000000000	28	142,28	32	28,4498172617	- 0,1351827383
34	28,360000000000000	30	210,64	34,41	29,673281428	1,313281428
2ida3	49,284000000000000	48	76,1	7,17	48,1884362681	- 1,0955637319
3ida3	28,601000000000000	28	30,15	24,82	29,6464344942	1,0454344942
					MÉDIA	0,1324696697
					DP	0,3188588306
					Máximo 90%	0,4496157635

## APÊNDICE C: FIGURAS ADICIONAIS

Feições medidas para controle de qualidade.



Fotografia tomada em campo e correspondente imagem aérea.

Edificação com grande área não construída abaixo do telhado, não perceptível em fotografias aéreas.



Campo nativo associado a pecuária de grande e médio porte.



No primeiro plano lago, seguido por campo nativo úmido e, ao fundo, silvicultura (eucalipto).



## APÊNDICE D: MAPAS FINAIS

# MAPA TOPOGRÁFICO

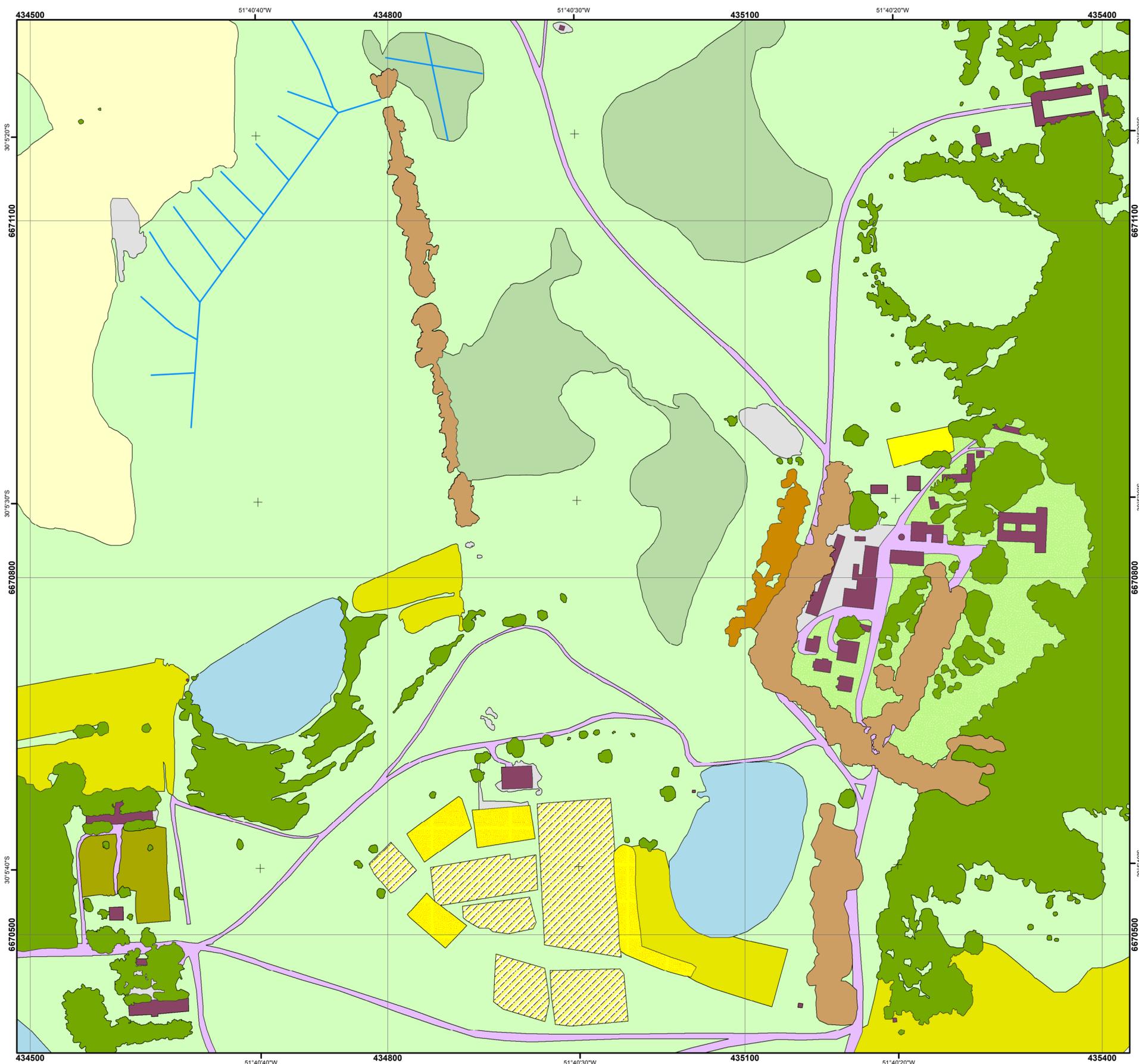
## Estação Experimental Agronômica da UFRGS



Legenda		Atividade / Uso		 <b>UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL</b>	Autor Gabriel de Souza		
×	Pontos Cotados	1, Administração	10, Laboratório de Pós-Colheita		Orientação: Andrea Lopes Iescheck e Flávia Farina		
†	Postes	2, Vestiário	11, Galpão de Máquinas	Classificação PEC: <b>A</b>			
—	Vias	3, Silo Desativado	12, Galpão / Churrasqueira	Altimetria	Pontos Cotados Definidos por Receptor GNSS Geodésico Desvio Padrão Máximo = 6 cm / Curvas de Nível Equidistantes em 2 m.		
—	Canais de Drenagem	4, Segurança	13, Fábrica de Ração	Data do Levantamento Aéreo	24 de Novembro de 2014		
- - -	Cercas	5, Secagem de Grãos	14, Depósito	Projeção	UTM - Fuso 22 S		
~	Curvas de Nível	6, Residência	15, Departamento de Solos	Sistema Geodésico de Referência	SIRGAS 2000		
+	Árvore Isolada	7, Refeitório	16, Combustível	Convergência Meridiana	20°15.63"		
■	Construções	8, Potro	17, Capela	Declinação Magnética	-9,22°		
■	Vegetação Arbustiva	9, Lavagem de Veículos e Máquinas	18, Aviário	Varição Anual	-0,08°		
■	Lagos		19, Apicultura	Escala 1:2500			
			20, Alojamento				

# MAPA DE COBERTURA E USO DO SOLO

## Estação Experimental Agronômica da UFRGS



### Legenda

	Mata Nativa		Hortícolas
	Campo Nativo Úmido		Gramínea
	Milho		Pinnus
	Cultura Associada: Milho / Aveia / Azevem / Campo Nativo		Eucalipto
	Cultura Associada: Milho / Aveia / Azevem		Solo Exposto
	Campo Nativo Associado a Pecuária de Médio e Grande Porte		Vias
	Cultura Associada: Aveia / Azevem		Construções
	Cítricos		Lagos
			Canais de Drenagem



Autor  
Gabriel de Souza

Orientação  
Andrea Lopes Iescheck e Flávia Farina

Classificação PEC

A

Data do Levantamento  
Aéreo

24 de Novembro de 2014

Projeção

UTM - Fuso 22 S

Sistema Geodésico  
de Referência

SIRGAS 2000

Convergência Meridiana

20'15.63"

Declinação Magnética  
Variação Anual

-9,22°  
-0,08°

Escala 1:2500

