



**Universidade de Brasília - UnB**

**Instituto de Geociências – IG**

**Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Geociências  
Aplicadas**



**ANÁLISE DAS POTENCIALIDADES DO USO DE IMAGENS ORBITAS DE ALTA  
RESOLUÇÃO ESPACIAL VISANDO ATENDER AS ESPECIFICAÇÕES DA NORMA  
TÉCNICA DE GEORREFERENCIAMENTO DE IMÓVEIS RURAIS.**

**TESE**

**Doutorando: Willem Wily de Paula Barbosa.**

**Orientador: Prof. Dr. Edilson de Souza Bias.**

**Brasília - DF**

**2018**



**Universidade de Brasília - UnB**

**Instituto de Geociências – IG**

**Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Geociências  
Aplicadas**



**WILLEM WILY DE PAULA BARBOSA**

**ANÁLISE DAS POTENCIALIDADES DO USO DE IMAGENS ORBITAS DE ALTA  
RESOLUÇÃO ESPACIAL VISANDO ATENDER AS ESPECIFICAÇÕES DA  
NORMA TÉCNICA DE GEORREFERENCIAMENTO DE IMÓVEIS RURAIS.**

Tese de Doutorado apresentada à Banca Examinadora do Programa em Geociências Aplicadas e Geodinâmica Área de Concentração - Geoprocessamento e Análise Ambiental do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, como exigência para obtenção do Título de Doutor em Geociências Aplicadas e Geodinâmica.

Orientador: Prof. Dr. Edilson de Souza Bias

Brasília - DF

2018

**WILLEM WILY DE PAULA BARBOSA**

**ANÁLISE DAS POTENCIALIDADES DO USO DE IMAGENS ORBITAS DE ALTA  
RESOLUÇÃO ESPACIAL VISANDO ATENDER AS ESPECIFICAÇÕES DA  
NORMA TÉCNICA DE GEORREFERENCIAMENTO DE IMÓVEIS RURAIS.**

Tese de Doutorado apresentada à Banca Examinadora do Programa em Geociências Aplicadas e Geodinâmica Área de Concentração - Geoprocessamento e Análise Ambiental do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, como exigência para obtenção do Título de Doutor em Geociências Aplicadas e Geodinâmica.

Orientador: Prof. Dr. Edilson de Souza Bias

**COMISSÃO JULGADORA**

	Nome	Assinatura
Presidente:	Prof. Dr. Edilson de Souza Bias	_____
Examinador Externo:	Prof. _____	_____
Examinador Interno:	Prof. _____	_____
Examinador Suplente:	Prof. _____	_____

## AGRADECIMENTOS

Desafio tão grande quanto o de desenvolver esta tese, foi o de utilizar apenas uma página para agradecer aos que foram essenciais neste percurso.

Inicialmente, estou muito grato a Deus, por permiti-me alcançar um sonho e dar-me força física e mental para não desistir, diante de tantos obstáculos encontrados.

Agradeço a toda energia e incentivo de meus pais, Sr. Francisco e Sra. Elidi (In Memoriam), que sempre estiveram ao meu lado, seja física ou espiritualmente.

No âmbito acadêmico, deixo minha lembrança ao Prof. Dr. Cláudio, pelo incentivo para meu ingresso nesta trajetória, bem como o Prof. MSc. Fragassi por todo apoio técnico e auxílio.

Uma vez no âmbito acadêmico, não posso deixar de citar um profissional que me convenceu de quão nobre é a função de pesquisar, Prof. Dr. Edilson, que sempre me induziu a pensar criticamente e encontrar soluções aos problemas enfrentados... Muito obrigado por sua contribuição em minha vida acadêmica.

Destaco a parceria com o Gestor Ambiental Osmair, pela ajuda nas atividades de campo, por todos os finais de semana dispensados para realizarmos a coleta de pontos na área de estudos. Agradeço também, ao Engenheiro Ambiental Rafael Viana, que foi fundamental para o processamento e análise de alguns produtos específicos e por todo tempo e atenção dispensados a mim.

Meus agradecimentos mais especiais e profundos são dedicados a duas pessoas: Lyvia (esposa) e Yasmin (filha). Obrigado por me suportarem durante este ciclo de forma incondicional, pelo apoio nos momentos difíceis (diversos e intensos). Peço desculpas pelas vezes que não pudemos sair juntos para almoçar, pelas vezes que não pude brincar de pique pega ou montar o quebra-cabeça, porém tudo sempre foi feito pensando num futuro melhor para vocês. Este período mostrou-me a verdade de nosso relacionamento, sou grato por cada gesto, sorriso e carinho... Amo vocês eternamente.

## **DEDICATÓRIA**

Ao parceiro Artur Orelli Paiva, a minha mãe e minha avó.

## RESUMO

Com o surgimento da Norma Técnica de Georreferenciamento de Imóveis Rurais (NTGIR), o processo de certificação no Brasil era realizado de forma lenta e ineficaz, o que gerava elevados custos financeiros, pois demandava muitos técnicos e o processo de análise junto ao INCRA era moroso e burocrático. Ao observar os diversos entraves enfrentados até então, foi criado o Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF), sendo esse o responsável por todos os processos de certificação de imóveis rurais no Brasil atualmente. Para atender esse novo padrão, foi editada em 2013, a 3ª versão da NTGIR, que permite a utilização de novos métodos de posicionamento e prevê o uso do sensoriamento remoto para determinação de limites naturais como montanhas, encostas e rios, tornando a implantação de marcos físicos dispensáveis nestes casos. Nesta perspectiva, a resolução espacial de alguns sensores orbitais (Ikonos QuickBird, GeoEye, WorldView), se tornam mais eficientes a cada dia e alcançam resolução espacial submétrica (cerca de 30 cm) o que permite seu aproveitamento no georreferenciamento de imóveis rurais. Desta forma, se pretende analisar e apresentar uma metodologia para utilização de imagens de satélite de alta resolução espacial, com vistas a determinação de vértices do tipo Marco (M), Ponto (P) ou Virtual (V) atendendo as especificações da NTGIR. Especificamente objetiva-se analisar o comportamento da ortorretificação em diferentes condições topográficas (áreas hidrográficas a suave onduladas e declivosas); Apresentar um Modelo Digital de Elevação (MDE) compatível com as imagens de alta resolução em função da amplitude topográfica da região; Indicar as situações e tipos de vértices que podem ser localizados por meio de imagens orbitais de alta resolução de maneira a reduzir as atividades de campo; Mostrar as potencialidades das imagens de alta resolução espacial como suporte ao processo de planejamento e análise das dinâmicas rurais; Expor o panorama brasileiro, no que tange área do território passível da aplicação da metodologia. A revisão bibliográfica apresentou a situação histórica referente ao avanço das imagens orbitais de alta resolução espacial integradas ao posicionamento por satélite, e suas contribuições relativas a 3ª edição da NTGIR. Para o processo de ortorretificação utilizou-se uma imagem orbital WorldView 2, numa área rural de cerca 606 ha, localizada na região administrativa de Brazlândia/DF, 60 Pontos de Controle Terrestres (PCT) coletados por meio de receptores GNSS Topcon Hiper Lite + (L1/L2), Modelo Digital de Elevação (MDE), com dados originados tanto das curvas de nível da Terracap (1:10.000), quanto dados SRTM. O processo de ortorretificação foi efetuado em 2 (duas) regiões com situações topográficas distintas. Uma em toda a área de estudo e outra na área suave ondulada. O PEC da área total foi compatível com a escala 1:10.000, classe A. E na suave ondulada foi classe A para a escala 1:5.000, o que comprova a influência do relevo no processo de ortorretificação. Ambos os resultados foram melhores que os exigidos pelo INCRA (1:25.000). O Brasil possui cerca de 145.000.000 ha de áreas suave onduladas não certificadas pelo INCRA, que são passíveis da aplicação da metodologia. Destaca-se ainda que a relação entre as áreas em ha, obtidas pelos PCT e seus homólogos na imagem, nas diferentes situações topográficas propostas, não ultrapassou 2%.

**Palavras-chave:** Imagem orbital. Georreferenciamento de imóveis rurais. Ortorretificação. PEC.

## ABSTRACT

With the arrival of the Technical Regulation of Georeferencing of Rural Properties (NTGIR), this process in Brazil was carried out slowly and inefficiently, which caused high financial costs, once it demanded many technical staff and the analysis process within INCRA was slow and extended along many years. Noting the various constraints encountered so far, INCRA has determined the creation of its Land Tenure System (SIGEF), which is responsible for all the certification processes of rural properties in Brazil. To meet this new standard, INCRA launched the 3rd edition of NTGIR, in 2013, which allows the use of new positioning methods and stipulates for the use of remote sensing to determine natural boundaries such as mountains, slopes and rivers, making the implementation of landmarks dispensable in these cases. In this perspective, the spatial resolution of some orbital sensors (Ikonos QuickBird, GeoEye, WorldView), become more efficient every day and reach sub-spatial resolution, reaching about 30 cm, which allows their use in the geo-referencing of rural properties. In this sense, the current work aims at analyzing and presenting a methodology for the use of satellite images of high spatial resolution, with a view to determining vertices (M, P, V) according to NTGIR specifications. Specifically, it aims to analyze the behavior of orthorectification in different topographic conditions (flat and sloped areas); present a Digital Elevation Model (DEM) compatible with high resolution images to serve a region where there is no altimetric cartographic base; indicate the situations and types of vertices that can be located by means of high resolution orbital images in order to reduce the field activities; propose a set of procedures to develop the steps of the georeferencing process; demonstrate the potential of high spatial resolution images as a support to the process of planning and analysis of rural dynamics; expose the Brazilian panorama with respect to the area of the territory suitable for applicability. The bibliographic review presented the historical situation regarding the advance of the orbital images of high spatial resolution integrated to the satellite positioning, and its contributions to the 3rd edition of NTGIR. For the orthorectification process, a WorldView 2 orbital image was used in a rural area around 606 ha, located in the administrative region of Brazlândia / Federal District, Brazil, DF; 60 Ground Control Points (GCP) collected Topcon Hiper Lite + GNSS receivers (L1 / L2), Digital Elevation Model (DEM), with data originating from both the Terracap (1:10.000) level curves and SRTM data. The orthorectification process was carried out in 2 (two) regions with different topographical situations. One in the whole study area and another in the smooth wavy area. The PEC of the total area was compatible with the scale 1: 10,000, class A. And in the soft corrugated it was class A for the scale 1: 5000, which proves the influence of the relief in the orthorectification process. Both results were better than those required by INCRA (1: 25,000). Brazil has about 145,000,000 ha of smooth corrugated areas not certified by INCRA, which are subject to the application of the methodology. It is also worth noting that, the relation between the areas in hectares, obtained by the GCP and their counterparts in the image, in the different topographic situations proposed, did not exceed 2%.

**Keywords:** Orbital image. Georeferencing of rural properties. Orthorectification. PEC.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Segmentos do sistema de posicionamento por satélite.....	26
Figura 2 - Planos Orbitais dos Satélites da constelação GPS.....	27
Figura 3 - Sensor Pancromático, Satélite WorldView.....	39
Figura 4 - Sensor Multi Espectral, Satélite WorldView.....	40
Figura 5 - Localização da área de estudos.....	54
Figura 6 - Especificações Técnicas Básicas.....	55
Figura 7 - Fluxograma das etapas metodológicas utilizadas na pesquisa.....	57
Figura 8 - Imagem fusionada composição colorida (RGB).....	58
Figura 9 - MDE gerado pelos dados da Terracap.....	59
Figura 10 - Modelo de declividade da área de estudos.....	60
Figura 11 - Delimitação de área plana.....	60
Figura 12 - MDE gerado pelos dados da TERRACAP.....	61
Figura 13 - Declividade no brasil.....	62
Figura 14 - MDE SRTM área total.....	63
Figura 15 - MDE SRTM, área plana.....	63
Figura 16 – Delimitação de área plana e declivosa.....	64
Figura 17 - Amostragem aleatória total.....	66
Figura 18 – Pontos, foto identificáveis rastreados em campo.....	67
Figura 19 - Relatório de processamento por PPP.....	67
Figura 20 – Exemplos de pontos foto identificáveis na área de estudos.....	69
Figura 21 – Áreas planas e rurais.....	73
Figura 22 – Áreas certificadas pelo INCRA.....	73
Figura 23 - Pontos levantados em campo.....	74
Figura 24 – Distribuição dos PCT e PC da área total.....	75
Figura 25 - Gráfico das discrepâncias.....	76

Figura 26 – Histograma, 10 PCT área total. ....	77
Figura 27 - Análise de tendências. ....	78
Figura 28 - Análise de precisão. ....	78
Figura 29 – Deslocamento máximo de uma imagem <i>Worldview 2</i> , devido ao relevo no plano de projeção. ....	79
Figura 30 – Mapa referente a área Plana utilizada neste procedimento. ....	80
Figura 31 - Distribuição dos 5 PCT. .	81
Figura 32 - Distribuição dos 6 PCT	81
Figura 33 - Distribuição dos 7 PCT.	81
Figura 34 - Distribuição dos 20 PC.	81
Figura 35 - Gráfico de discrepâncias das coordenadas, utilizando-se 5 PCT. ....	82
Figura 36 - Gráfico de discrepâncias das coordenadas, utilizando-se 6 PCT. ....	82
Figura 37 - Gráfico de discrepâncias das coordenadas, utilizando-se 7 PCT. ....	82
Figura 38 - Histograma 5 PCT, área plana. ....	84
Figura 39 - Histograma 6 PCT, área plana. ....	84
Figura 40 - Histograma 7 PCT, área plana. ....	85
Figura 41 - Análise de tendências, utilizando 5 PCT. ....	86
Figura 42 - Análise de tendências, utilizando 6 PCT. ....	86
Figura 43 - Análise de tendências, utilizando 7 PCT. ....	86
Figura 44 - Classificação do PEC, utilizando 5 PCT, na escala de 1:5.000. ....	87
Figura 45 - Classificação do PEC, utilizando 6 PCT, na escala de 1:5.000. ....	87
Figura 46 - Classificação do PEC, utilizando 7 PCT, na escala de 1:5.000. ....	88
Figura 47 – Áreas simuladas em diferentes situações de declividade. ....	89
Figura 48 – Detalhe área plana, menor 100 ha, foto identificável. ....	90
Figura 49 – Detalhe área plana, maior 100 ha, foto identificável. ....	91
Figura 50 – Detalhe área declivosa. ....	92
Figura 51 – Ortoimagem Terracap (esquerda) e ortoimagem SRTM (direita). ....	93
Figura 52 – Áreas não certificadas e com relevo compatível a aplicação do método. ....	97

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Características técnicas para posicionamento relativo estático.....	31
Tabela 2 - Satélites de baixa, média e alta resolução espacial. ....	35
Tabela 3 - Tolerâncias utilizadas para avaliação da acurácia posicional utilizando o Decreto-lei nº 89.817 aliado às especificações da DSG.....	70
Tabela 4 - Classificação de vértices quanto ao código, tipo e precisão.....	70
Tabela 5 – Estatísticas amostrais, área total. ....	76
Tabela 6 - Valores absolutos obtidos a partir da diferença entre as coordenadas e dados do EMQ de acordo com o número de PCT utilizados.....	83
Tabela 7 – Diferença de área e perímetros em relação a PCT e Imagem. Diferença de área e perímetros em relação a PCT e Imagem, área plana, menor que 100 ha e foto identificável. ....	90
Tabela 8 – Diferença de área e perímetros em relação a PCT e Imagem, área plana, maior que 100 ha e foto identificável. ....	91
Tabela 9 – Diferença de área e perímetros em relação a PCT e Imagem, área declivosa, não foto identificável.....	93
Tabela 10- Valores das discrepâncias das coordenadas das ortoimagens. ....	94
Tabela 11 – Áreas passíveis da aplicação da metodologia. ....	97
Tabela 12 - Imóveis Rurais Cadastrados e Certificados no INCRA. ....	99

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	12
1.2 JUSTIFICATIVA .....	14
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
3.1 HISTÓRICO DO REGISTRO DE IMÓVEIS NO BRASIL.....	18
3.2 LEI DE GEORREFERENCIAMENTO DE IMÓVEIS RURAIS Nº 10.267/01 .....	21
3.3 SATÉLITES DE POSICIONAMENTO.....	24
<b>3.3.1 Navstar/GPS .....</b>	<b>25</b>
<b>3.3.2 Glonass .....</b>	<b>27</b>
<b>3.3.3 Galileo .....</b>	<b>28</b>
<b>3.3.4 Beidou/Compas e Irnss .....</b>	<b>29</b>
3.4 MÉTODOS DE POSICIONAMENTO .....	30
<b>3.4.1 Posicionamento relativo.....</b>	<b>30</b>
<b>3.4.2 Posicionamento em tempo real .....</b>	<b>32</b>
3.5 SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO GEORREFERENCIAMENTO .....	32
3.6 EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DAS IMAGENS ORBITAIS .....	34
<b>3.6.1 Satélite de alta resolução .....</b>	<b>35</b>

<b>3.6.2 Satélites de baixa e média resolução espacial .....</b>	<b>40</b>
3.7 TEORIA DE AMOSTRAGEM.....	44
<b>3.7.1 Formas de amostragem .....</b>	<b>44</b>
3.8 CORREÇÃO GEOMÉTRICA DE IMAGENS ORBITAIS .....	45
3.9 ORTORRETIFICAÇÃO DE IMAGENS ORBITAIS .....	46
3.10 PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA (PEC).....	48
3.11 QUALIDADE DE DADOS CARTOGRÁFICOS .....	50
<b>3.11.1 Acurácia posicional .....</b>	<b>50</b>
<b>3.11.2 Análise de tendência.....</b>	<b>51</b>
<b>3.11.3 Análise de precisão .....</b>	<b>52</b>
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>53</b>
4.1 ÁREA DE ESTUDO .....	53
4.2 MATERIAL.....	54
4.3 MÉTODOS .....	56
<b>4.3.1 Fusão da imagem.....</b>	<b>57</b>
<b>4.3.2 Geração dos Modelos Digitais de Elevação (MDE).....</b>	<b>58</b>
<b>4.3.3 Amostragem dos pontos de controle terrestres na área de estudos.....</b>	<b>64</b>
<b>4.3.4 Coleta e processamento de pontos de controle terrestres.....</b>	<b>66</b>
<b>4.3.5 Ortorretificação.....</b>	<b>68</b>
<b>4.3.6 Qualidade posicional.....</b>	<b>69</b>
<b>4.3.7 Comparação posicional entre os pontos da imagem processada, pontos coletados e especificações da 3ª NTGIR.....</b>	<b>70</b>
<b>4.3.8 Possibilidades de uso do método em áreas planas no Brasil .....</b>	<b>72</b>

<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>74</b>
5.1 COLETA DE DADOS EM CAMPO .....	74
5.2 ORTORRETIFICAÇÃO DA IMAGEM <i>WORLDVIEW 2</i> ÁREA TOTAL DE ESTUDOS COM MDE TERRACAP E SRTM.....	75
5.3 ORTORRETIFICAÇÃO DA IMAGEM <i>WORD VIEW 2</i> NA ÁREA PLANA COM MDE TERRACAP E STRM.....	80
<b>5.3.1 Estatísticas ortoimagem na área plana a suave ondulado.....</b>	<b>81</b>
<b>5.3.2 Análise de áreas e perímetros em diferentes situações de declividade.....</b>	<b>88</b>
<b>5.3.3 Possibilidades de aplicação e uso .....</b>	<b>93</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>102</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>104</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>113</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>115</b>
<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>117</b>
<b>APÊNDICE D .....</b>	<b>118</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Os conflitos fundiários no Brasil são temas de discussões recorrentes e ocasionadas em função de sua grande extensão territorial. A questão referente a demarcação e divisão das terras, no decorrer da história do país, adquiriu diferentes contornos. Na década de 1960, surgiu com maior intensidade o debate sobre a necessidade de reforma agrária, sobretudo nas regiões Norte e Nordeste que sofreram com o maior nível de concentração fundiária. Já em 1993, o Congresso Nacional instituiu que a improdutividade das terras caracterizava descumprimento de função social da propriedade, caso previsto na Constituição de 1988, quando ficou estabelecido legislativamente que a improdutividade precederia à desapropriação. Atualmente, por parte dos movimentos sociais "sem terra", as ocupações de áreas rurais tornaram-se os principais mecanismos de pressão sobre o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), para a execução dos processos de desapropriação e assentamentos (MANFREDO, 2011).

A estrutura fundiária rural no Brasil vem sofrendo diversas transformações ao longo do tempo, e um dos pontos básicos é a coleta e gestão das informações para elaboração de uma estrutura de dados georreferenciados sobre o território. Com o aprimoramento de técnicas e a potencial disseminação de informações, instituiu-se, no ano de 2001, a Lei 10.267, que trata sobre o georreferenciamento de imóveis rurais e a criação do Cadastro Nacional de Imóveis Rurais (CNIR). Com isso, surgiu a discussão a respeito da exatidão posicional dos vértices que compõem o perímetro dos imóveis rurais, das técnicas a serem utilizadas, dos equipamentos e dos profissionais habilitados para tal atividade. Desta maneira, o INCRA elaborou a Norma Técnica para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais (NTGIR), em novembro de 2003, com propósito de orientar os profissionais que atuam no mercado de demarcação, medição e georreferenciamento de imóveis rurais, visando padronizar os trabalhos de agrimensura destinados ao levantamento de imóveis rurais, garantindo assim confiabilidade na geometria descritiva do imóvel rural, de forma a dirimir conflitos decorrentes de sobreposição de imóveis limítrofes (TOLEDO; BERTOTTI, 2014).

Com o advento da NTGIR, o processo de georreferenciamento de imóveis rurais no Brasil passou a ser realizado de forma lenta e ineficaz, gerando elevados custos financeiros, pois demandava muitos técnicos, e a análise junto ao INCRA era morosa e burocrática (TOLEDO; BERTOTTI, 2014).

Desta forma, em fevereiro de 2010, o INCRA lançou a 2ª edição da NTGIR, que apresentou mudanças em alguns métodos de levantamento e posicionamento, implementando os usos de novas tecnologias, como o *Real Time Kinematic* (RTK), além de rever os tempos necessários para a coleta de algumas informações relativas aos receptores *Global Positioning System/Global Navigation Satellite System* (GPS/GNSS).

Observando os diversos entraves enfrentados até então, em 2013 o INCRA, determinou a criação de seu Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF), sendo esse o responsável por todos os processos de certificação de imóveis rurais no Brasil, realizados de forma digital, através de um sistema via *web*. Para atender a essa nova forma de certificação dos imóveis, o órgão lançou no mesmo ano, a 3ª NTGIR (atualmente em vigor), que está condicionada ao Manual Técnico de Limites e Confrontações e Manual Técnico de Posicionamento. Esta simples mudança trouxe uma série de vantagens, tais como: melhoria na identificação do imóvel; identificação da sobreposição de títulos; evita ou dificulta fraudes de dupla titulação; possibilita o referenciamento entre registros e mapas cadastrais e facilita a interligação dos dados apurados com outros registros territoriais. Neste sistema são efetuadas a recepção, validação, organização, regularização e disponibilização das informações georreferenciadas de limites de imóveis rurais, públicos e privados.

A 3ª NTGIR prevê o uso do sensoriamento remoto para determinação dos limites naturais como montanhas, encostas e rios, tornando a implantação de marcos físicos dispensáveis nestes casos. Porém, o uso de produtos originados de sensoriamento remoto, ainda não é ampliado para vértices que demandam maior precisão, pelo desconhecimento relativo às reais possibilidades em atender as precisões exigidas.

Neste contexto, as geotecnologias tendem a possibilitar avanços expressivos no desenvolvimento do processo georreferenciamento e certificação de imóveis rurais, e outros aspectos ligados à questão espacial (SILVA; BACANI, 2005), permitindo a utilização de diferentes técnicas como o uso de imagens de satélites, fotografias aéreas e outras tecnologias digitais capazes de indicar novos caminhos para desenvolver soluções práticas para problemas que anteriormente não abrangiam alternativas.

Dentre as geotecnologias, destaca-se o sensoriamento remoto, uma boa possibilidade de aquisição de dados para o levantamento e monitoramento dos recursos terrestres em escala nacional. Hoje em dia, a resolução espacial de diversas imagens orbitais (Ikonos QuickBird, GeoEye, WorldView) é menor do que um metro, o que permite seu aproveitamento nas áreas de aquisição de dados sobre recursos naturais, monitoramento ambiental, identificação de

desastres naturais, supressões florestais, projeções de safras, cartografia de precisão e cadastramentos multifinalitários. O acelerado avanço com que o sensoriamento remoto se desenvolveu em poucas décadas deve-se à revolução nos meios de se observar o planeta numa escala global e periódica, e na celeridade do monitoramento dos fenômenos dinâmicos e das mudanças das feições terrestres. O levantamento do uso atual da terra, necessário para fins de planejamento territorial, pode ser obtido a partir da utilização de dados providos por satélites, atrelados às técnicas de processamento e avaliação de qualidade cartográfica (GRIP JUNIOR et al., 2010)

A utilização de dados do sensoriamento remoto no levantamento do uso atual do solo oferece vantagens, que segundo Andrade et al. (2017) vão abranger grandes áreas de difícil acesso e fazer o imageamento a altas altitudes, possibilitando uma observação sintética da superfície terrestre, com frequência pré-estabelecida, o que permite realizar diversos tipos de intervenções relacionadas ao planejamento territorial.

Os sensores remotos têm apresentado alto potencial, tendo em vista que processam em prazos mais curtos, de forma global e mais econômica, os dados territoriais. O uso de imagens de satélite como base cartográfica é muito promissor devido a sua competitividade econômica, periodicidade de aquisição e fornecimento de importantes informações sobre mudanças no uso da terra (BOTTEON, 2016).

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O surgimento das imagens de satélite de alta resolução espacial trouxe grande expectativa para o setor de cartografia, tornando cada vez maior seu espectro de aplicações. Já é evidenciada a relevância deste uso em distintas áreas (rurais ou urbanas), possibilitando celeridade, qualidade e custos viáveis aos usuários.

Desta maneira é relevante analisar a aplicação de imagens orbitais de alta resolução para atividades de Georreferenciamento de imóveis Rurais, com intuito de minimizar dificuldades identificadas no processo, como: a aquisição de pontos de controle, dificuldade de acesso aos vértices que delimitam o imóvel, acesso a Área de Preservação Permanente (APP), áreas inacessíveis, acidentes geográficos e áreas de domínio privado. Neste sentido é apropriado o desenvolvimento de estudos aprofundados que indiquem quais os limites e potencialidades de uso de imagens orbitais de alta resolução no processo de regularização fundiária.

Nesta vertente, surge a importância da informação cadastral precisa e atualizada, de forma ágil, com qualidade e principalmente, sendo atrativa em relação a custo-benefício, quando comparada aos procedimentos convencionais para aquisição e processamento de dados.

Devido sua dimensão continental, o Brasil apresenta marcas históricas de disparidades socioeconômicas e espaciais, e uma ampla deficiência acerca de planejamento e gestão das informações para o planejamento territorial. Desta forma, reconhecer a dinâmica de ocupação e uso do solo torna-se essencial para qualquer tomada de decisão. A identificação confiável da distribuição das propriedades no espaço físico (estrutura fundiária) é elemento fundamental quando se pensa em formas para determinar o perfil de políticas públicas para um adequado gerenciamento do território.

Neste viés, milhares de proprietários rurais, ficam impedidos de participar das políticas públicas sobre o desenvolvimento agrário, tendo em vista, que a ausência de certificação dos imóveis rurais ocasiona consequências para acesso a linhas de crédito, dificultando sua sobrevivência econômica. O que torna o processo de regularização da estrutura fundiária do país, condição elementar para os processos de ordenamento territorial.

A problemática que se expõe, é a de que os dados a respeito da localização espacial e a definição da área dos imóveis rurais não apresentavam precisão e acurácia até o estabelecimento da Lei nº 10.267 de 28 de agosto de 2001, ou seja, para definição de mapa e memorial descritivo destas áreas, considerava-se o que era informado no momento da aquisição das informações cadastrais, por não haver nenhuma norma que constituísse critério posicional (métrico ou geodésico) a ser seguido, de maneira padronizada. Em vista destes fatos, é muito constante no setor rural brasileiro, a existência de propriedades com registros imobiliários que diferem de sua real situação. Alguns imóveis rurais apresentam áreas maiores ou menores do que o foi registrado, regiões em que ocorre sobreposição de matrículas, ou ainda, detentores da posse da área, sem a indispensável matrícula e regularização junto ao Registro Imobiliário e INCRA.

Atualmente, o georreferenciamento de imóveis rurais é realizado, quase absolutamente, por métodos de topografia clássica e posicionamento GNSS, ou em muitos casos, pela integração destes dois métodos. Apesar do amplo progresso sofrido ao longo dos anos, a utilização de técnicas de sensoriamento remoto para georreferenciar imóveis rurais ainda é pouco difundida, muito em função das restrições indicadas na 3ª NTGIR, que apenas oferece este uso para vértices inacessíveis.

Segundo Monico (2008), um dos graves problemas identificados para a consumação do georreferenciamento de imóveis rurais, está na dificuldade em acessar determinados tipos de limites, sobretudo os naturais, como também no problema relativo à obstrução do sinal GNSS. Na maioria dos casos, tais entraves são contornados utilizando-se dos métodos de posicionamento por topografia clássica e GNSS associadas, contudo geram custos e maior tempo dispensado para a realização do levantamento.

Quando os imóveis são delimitados por limites naturais e inacessíveis, as chances de ocorrerem erros em sua delimitação, por processos topográficos ou geodésicos são maiores, o que pode gerar o risco de cancelamento da certificação, além de muitas vezes ocorrer sobreposição, em função de perda ou ganho na área do imóvel.

Ao pensar neste problema, o INCRA prevê o uso de produtos obtidos por sensoriamento remoto, que podem ser empregados no levantamento por método indireto, quando as coordenadas dos vértices definidores dos limites da ocupação imóvel rural são obtidas de maneira não presencial. Deve-se observar que esse método se aplica apenas à determinação de coordenadas em limites considerados inacessíveis. Destaca-se ainda que as imagens devam ser obtidas a partir de sensores em nível orbital, ou ainda produtos de aerofotogrametria, obtendo assim, informações geométricas com exatidão e confiabilidade devidamente analisadas pelo responsável técnico da atividade (INCRA, 2013).

Portanto, é pertinente o aprofundamento de pesquisas que visem descrever os aspectos a serem analisados com as imagens orbitais, caso as mesmas atinjam escalas compatíveis e os erros (desvio padrão e variância) encontrados entre pontos levantados com base em GNSS e obtidos nas imagens, estejam dentro de limites de aceitação, permitindo avanço relativo ao tempo de execução do georreferenciamento, com intuito de gerar menores custos financeiros.

O presente trabalho visa analisar e propor soluções, para o processo de certificação de imóveis rurais com o uso de imagens de alta resolução espacial, abrindo uma nova perspectiva para formas de analisar e planejar os estudos da dinâmica rural, auxiliando o poder público, em suas legislações e programas, como o programa "Terra Legal", do Ministério de Desenvolvimento Agrário (MDA), que trata de uma iniciativa de regularização fundiária em imóveis rurais na Amazônia, que possui diversas dificuldades de acessibilidade, em função das características físicas e geográficas do espaço.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem por objetivo geral analisar e apresentar uma metodologia para utilização de imagens de satélite de alta resolução espacial, com vistas à determinação de vértices (M, P, V) atendendo as especificações da NTGIR e seus respectivos manuais.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o comportamento da ortorretificação em diferentes condições topográficas (áreas plano onduladas e declivosas);
- Apresentar um Modelo Digital de Elevação (MDE) compatível com as imagens de alta resolução em função da amplitude topográfica da região;
- Indicar as situações e tipos de vértices que podem ser localizados por meio de imagens orbitais de alta resolução, de maneira a reduzir as atividades de campo;
- Mostrar o potencial de uso das imagens de alta resolução espacial, como suporte ao processo de planejamento e análise das dinâmicas rurais;
- Expor o panorama brasileiro, no que tange à área do território passível da aplicação da metodologia.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 HISTÓRICO DO REGISTRO DE IMÓVEIS NO BRASIL

A história da propriedade imobiliária no país teve início com seu descobrimento, tendo o Rei de Portugal, como descobridor, contraído o título originário referente à posse destas terras. Mediante as cartas de doação (no sistema de capitâneas hereditárias) a coroa portuguesa transferiu aos donatários, o poder de distribuir terras mediante as cartas de sesmarias. A carta de sesmaria era passada a interessados em cultivá-las e, após certo tempo, não tendo sido cultivadas, regressariam ao donatário, caracterizando-se como terras devolutas e podiam ser novamente distribuídas (FOLLE, 2008).

Conforme Folle (2008), o regime de sesmarias perdurou desde a descoberta do Brasil até a sua independência (1822). Durante o tempo compreendido entre 1822 a 1850 houve um vazio nas ações legislativas sobre o território, gerando como efeito a progressiva ocupação do solo mediante a simples tomada de posse, sem qualquer título.

A Lei n.º 601, de setembro do ano de 1850, junto ao Regulamento n.º 1.318 de 1854, tornou-se a primeira legislação de terras do Império, diferenciou os bens públicos dos particulares, legitimou a aquisição pela posse (por mais de certo período de tempo), sendo as terras registradas pelos vigários das freguesias do Império, no livro da Paróquia Católica na qual se situavam as respectivas terras. Cabe ressaltar que, desde então, era possível identificar o critério de competência do registrador pelo local de situação do imóvel, ou seja, a freguesia à qual ele pertencia. O registro era compulsório àqueles que detinham terras devolutas (DINIZ, 2014).

Ressalta-se que o registro paroquial tinha caráter meramente estatístico, não concretizando a transferência da propriedade nem sendo maneira aquisitiva da propriedade. Tal registro não possuía caráter público, motivo pelo qual ocorriam diversos conflitos em função do domínio da terra. Neste período histórico, a forma de transmissão da propriedade se dava pela tradição e por meio de um documento escrito. A tradição seria a relação de direito real, enquanto o título seria apenas a tradução de uma relação de direito pessoal, acompanhando os padrões da teoria romana do “título” e do “modo de adquirir”. No entanto, com o decorrer do tempo, o caráter restritivo de publicidade conferido pelo reflexo externo da tradição foi desaparecendo, na medida em que a cláusula “*constituti*” foi se difundindo, passando o comprador a exercer a posse em nome do vendedor. Como não havia registros de

todas essas transmissões e alienações, o crédito também ficou afetado e sentia-se a necessidade de uma regularização da situação (LOUREIRO FILHO, 2004).

O registro de Imóveis no Brasil foi instituído em 1864, mediante a lei 1.237. Esta instância executa atos registrais que têm por finalidade dar segurança jurídica aos atos constituídos e atos e fatos declarados. Os atos registrais são de duas espécies: registro e averbação. O primeiro é considerado o ato principal, porque não é dependente de ato anterior, enquanto a averbação é ato acessório, porque tem por intenção adicionar algo a ato já existente. Os atos de registro ordinariamente são utilizados para a escrituração que produzirá efeitos constitutivos ou declaratórios, já os atos de averbação são utilizados para noticiar fatos ou atos jurídicos relacionados ao imóvel, direitos ou sujeitos e a desconstituição de direitos reais ou obrigacionais, sendo que a averbação sugere a necessidade de constatar os fatos subsequentes ao registro. Tem a função de esclarecer, alterar ou restringir registros em relação ao titular do direito real. Além disto, tem caráter acessório devido à sua natureza puramente alteradora ou elucidativa do registro ou da matrícula. Seu efeito pode ser integral, quando extraído todo o efeito jurídico do ato anterior, ou parcial, quando efeitos do ato anterior subsistem (CARNEIRO, 2003).

O Registro Geral, concentra todos os direitos reais imobiliários, o que apesar de não constituir um sistema de registro completo, proporcionava-lhe um enorme avanço na sua formalização. Dentre os avanços acarretados por esta Lei, destaca-se a indicação dos oito livros principais para a escrituração dos registros, que persistem até hoje com poucas mudanças. O modo de transferência da propriedade também foi alterado, passando da tradição para a transcrição, um avanço em benefício da publicidade. Desta forma a escritura pública tornou-se obrigatória, tanto para título da transmissão de imóveis entre vivos, ou como título para a constituição de ônus reais (CARNEIRO, 2003).

A partir da proclamação da República e a manifestação de novas ideias para o sistema de registro imobiliário do país, a Lei n.º 1.237, de 1864, foi alterada pelo Decreto n.º 169 e seu regulamento, ambos de 1890. O novo Decreto conservou a designação “Registro Geral”, entretanto inovou ao consagrar o princípio da especialização e, no que tange às brechas admitidas pela Lei Imperial, nada modificou nem acresceu, fazendo com que persistisse o sistema da antiga lei, concluindo também que o registro não induzia prova de domínio (FOLLE, 2008).

Em 1917, após entrar em vigor o Código Civil de 1916, os diplomas antecedentes foram revogados, e o registro imobiliário, denominado então, Registro de Imóveis, não mais

Registro Geral, formalizou-se como uma instituição pública, tendo a função de atuar na transmissão do domínio, sendo esta uma forma de sua aquisição (DINIZ, 2014), consagrando o princípio de que a propriedade imóvel se formaliza pelo registro (LOUREIRO FILHO, 2004), além de apresentar vários princípios necessários em um sistema registral. A transcrição também passou a ser valorizada, gerando presunção relativa de domínio em favor de seu titular. O Registro convergiu para si as transmissões “*causa mortis*” e os atos judiciais, que as leis anteriores indicavam como isentos.

Com a função de reorganizar os registros públicos e em complemento ao Código Civil de 1916, surgiu o Decreto n.º 4.827 de 1924, e o regulamento n.º 4.857 de 1939, que atribuíram autonomia para a atividade registral em geral. Ocorreu ainda a tentativa de mudança do Decreto n.º 4.857 de 1939, pelo Decreto-Lei n.º 1.000 de 1969, técnica legislativa tão duvidosa e inexecutável que teve sua sanção por várias vezes adiada, culminando em sua revogação. Em virtude disto, surgiu a Lei n.º 6.015, de 31 de dezembro de 1973, conhecida como Lei dos Registros Públicos, vigente atualmente, com algumas alterações, que adotou o fôlio real no Livro 2, no chamado “Registro Geral”. Essa Lei visou a simplificação, preocupando-se principalmente, com o fluxo interno de papéis (CARNEIRO, 2003).

A matrícula foi mais uma inovação oferecida pela lei, por sua exigibilidade como pré-requisito do registro, o que confirma a atenção dada à cautela necessária em relação a real identificação das partes e do imóvel. A Lei ponderou ainda sobre outros assuntos próprios à atividade de registro e notas, tais como, a retificação dos assentos, o processo de dúvida, o desmembramento e a união de imóveis contíguos, o protocolo, dentre outros (DINIZ, 2014).

A forma de garantir os direitos relativos a imóveis e seus afins se materializa por meio do Registro de Imóveis. Nele são realizados, além da matrícula, atos de averbação e registro. A expedição de certidões e protocolos de títulos, para que mantenham a devida ordem de preferência, também são funções exercidas pelo registrador imobiliário (FOLLE, 2008).

Loureiro Filho (2004) destaca que a matrícula determina o cadastro do imóvel, trazendo suas especializações objetivas, em relação ao imóvel, e subjetivas, em relação às garantias referentes àquele imóvel e aos titulares de direitos. É a maneira de individualização dos imóveis, com sua descrição e completa localização geográfica. Ela será aberta obrigatoriamente na ocasião do primeiro registro do imóvel de ofício, quando será avocado “*ex novo*”, ou ainda, em situações de fusão de imóveis ou quando tiver de ser proferida determinada averbação em imóvel já transcrito e ainda não matriculado ou a requerimento do proprietário. Posteriormente a abertura da matrícula do imóvel, todos os atos relativos a ele,

como registros e averbações serão escritos em sua matrícula, observando o princípio da continuidade, refletindo a real situação e estado do imóvel.

O ato de registro constitui o direito real, ou o arquivamento de atos que não dizem respeito diretamente a imóveis, mas que por lei são atribuídos a essa serventia. Tanto o registro, quanto a averbação devem ser realizados no Cartório da situação do imóvel, excetuando os preceitos específicos a imóveis localizados em circunscrições limítrofes ou que tenham passado a pertencer a outras circunscrições.

### 3.2 LEI DE GEORREFERENCIAMENTO DE IMÓVEIS RURAIS Nº 10.267/01

O detentor do direito real sobre imóvel rural é o titular, que para concretizar sua condição e certificar seu domínio, deve proceder ao registro de seu imóvel, em sua circunscrição local. Contudo, além do registro, é necessário que se faça o cadastramento do imóvel rural, que tem por objetivo realizar o levantamento das edificações rurais existentes no Brasil. Este cadastro foi instituído pelo Estatuto da Terra, com a finalidade de esclarecer os direitos e deveres concernentes aos imóveis rurais, subsidiando políticas agrícolas e a realização da reforma agrária. O Estatuto da Terra, em seu art. 49, § 1º, obriga a totalidade dos proprietários, titulares do domínio útil ou possuidores, a qualquer título de imóvel rural, a oferecer declarações para cadastro (NASCIMENTO; SOUZA, 2006).

De acordo com Folle (2008), os proprietários, os arrendatários e parceiros rurais são obrigados a realizar o cadastro. No caso de omissão dos declarantes, a lei possibilita o lançamento de ofício do imposto pelo INCRA, instituição responsável geração do Imposto Territorial Rural (ITR), além de cobrança de despesas para apuração dos dados e multas. As modificações trazidas pela Lei 10.267/0, em relação ao art. 176, § 1º, 3, da Lei de Registros Públicos, que sujeitam a matrícula a uma melhor e mais acurada descrição e definição do imóvel, especialmente para integrar-se ao Certificado de Cadastro de Imóvel Rural (CCIR).

A Lei 10.267/01 marca um expressivo auxílio na relação entre os sistemas de cadastro e de registro, expressado como o intercâmbio e compartilhamento de informações e processos, pois presumiu a integração entre o CNIR e o Registro de Imóveis. Todavia, tal conexão não representa a supressão da função cadastral, muito menos da registral, nem a fusão de competências e funções ou a sobreposição de um tipo de informação sobre a outra, considerando que ambos apresentam fins diferentes, sendo a do Cadastro, entre outras, a mensuração de parcelas e a do Registro, dar publicidade aos atos. Além disso, a integração

dos sistemas cadastral e registral tem a intenção de constituir a garantia das transações imobiliárias, a diminuição dos erros relacionados à medida dos imóveis, sobretudo os rurais, identificação mais exata de problemas na definição dos limites, a atualização das informações e a remoção de espaços vazios entre imóveis, ocasionados por falhas ou insuficiência na descrição registral (RAMBO; RAMBO, 2013)

A integração entre INCRA e Registro de Imóveis, de acordo com as exigências da Lei 10.267/01, é materializada quando o proprietário do imóvel rural apresenta ao INCRA o memorial descritivo e a sua planta georreferenciada, elaborados por um profissional habilitado, para que este órgão se certifique que tal imóvel não se sobrepõe a outro. E, caso não ocorra sobreposição, o sistema não acusará conflito com outros imóveis, e o mesmo passa a constar em seu sistema nacional, recebendo sua certificação dos limites do imóvel rural através do INCRA. Portanto, com a planta e o memorial descritivo, certificados, além das declarações de consentimento dos confrontantes relativas aos limites definidos, o proprietário do imóvel rural os encaminha ao Registro de Imóveis, que irá apurar a equivalência dos declarantes com os titulares das matrículas adjacentes e transcreverá o memorial descritivo para a matrícula do imóvel (DINIZ, 2014).

Todas as especializações necessárias para atualização cartorária estarão contidas no memorial descritivo georreferenciado, que substituirá a matrícula anterior. Após arquivamento dos atos, o Oficial do Registro de Imóveis notificará o INCRA, sobre as mudanças objetivas e subjetivas envolvendo ditos imóveis rurais. O INCRA, recebendo as informações do Registrador, atribuirá a cada imóvel um novo número cadastral e notificará o registro imobiliário. Este realizará de ofício, uma averbação na matrícula, incluindo o número do cadastro fornecido pelo INCRA. Dessa forma estará completo o procedimento de interconexão entre esses dois órgãos (RAMBO; RAMBO, 2013).

Antes da Lei n.º 10.267/01 ser sancionada, a identificação dos imóveis rurais para fins de registro era fundamentada, exclusivamente, em descrições literais, sem necessidades de nenhum tipo de aferição e mensuração. O que se compreendia é que esse método era impreciso e duvidoso, ocasionando indefinições dos limites de um determinado imóvel e por consequência superposições ou sobreposições de áreas. Com o surgimento da referida lei, foi constituído um novo regulamento para determinação dos vértices dos imóveis rurais, tendo como premissa a medição do imóvel com suporte geodésico. Essa nova sistemática, marcada pela padronização de procedimentos técnicos e sua aplicação, elencando-se como

fundamentais a identificação inequívoca dos imóveis rurais do país, a segurança aos detentores de tais imóveis e de terceiros (NASCIMENTO; SOUZA, 2006).

Em decorrência da Lei n.º 10.267/01, o georreferenciamento foi imposto ao proprietário rural, inserindo tal obrigatoriedade em artigos da Lei dos Registros Públicos, o georreferenciamento é uma técnica moderna de agrimensura, seu uso não é específico ao INCRA para o atendimento da exigência legal citada pela Lei n.º 10.267/01, podendo também ser realizado por ação particular de quem possua interesse em determinar de forma precisa os limites do imóvel rural. Para sua consumação deve-se identificar um profissional que seja credenciado, que cumpra, honestamente, as normas técnicas específicas para a apropriada delimitação do imóvel. Este procedimento técnico tem como meta, garantir demarcações criteriosamente geométricas e poligonais, geograficamente referenciadas ao sistema de coordenadas oficiais do país, como também sua precisão absoluta, restringida à diferença de 0,5 m (AUGUSTO, 2006).

Quem realiza o georreferenciamento são profissionais regidos pelo Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura (CREA), credenciados no INCRA, que por Anotação de Responsabilidade Técnica (ART), assumem a responsabilidade pela prestação do serviço. Ao admitirem tal responsabilidade, tais profissionais ficam obrigados a responder por eventuais prejuízos, que uma possível má execução de serviços possa propiciar (AUGUSTO, 2006).

Uma discussão recorrente, quando se trata do assunto georreferenciamento de imóveis rurais é a questão relativa aos prazos, que devem ser considerados para o ajustamento dos imóveis rurais a esta exigência. Após numerosos debates e argumentações enfatizando a impossibilidade do cumprimento das normas do georreferenciamento, no que diz respeito aos prazos primeiramente fixados e a inquietação com a paralisação do mercado imobiliário, o cronograma previamente estipulado, vem sendo estendido de forma sucessiva, tendo como justificativa a incapacidade operacional e técnica para seu efetivo cumprimento (FOLLE, 2008).

De acordo com o que ressalta Oliveira Júnior (2008), uma importante inovação feita em favor do georreferenciamento, que atinge diretamente aos registradores imobiliários, é que no caso de ser feita a medição e a caracterização do imóvel conforme a lei determina, e encontrar-se área divergente da área registrada no cartório, poderá ser feita a retificação administrativa nos moldes do art. 213 da Lei dos Registros Públicos. Deve-se advertir que esse benefício apenas será viável face ao primeiro georreferenciamento do imóvel, desde que não extrapole a poligonal do título originário, que provém, e não exista oposição do

confrontante, quando a retificação deverá ocorrer de forma judicial ou por vias ordinárias, em função da discussão de domínio existente.

A Lei 10.267/2001 tornou indispensável, o georreferenciamento do imóvel na escritura, para alteração nas matrículas em casos de modificação na retificação de área, titularidade, remembramento, parcelamento, desmembramento, loteamento, Reserva Legal e alterações referentes a aspectos de meio ambiente. Para execução de tais atividades, a NTGIR prevê o uso de posicionamento por satélite, através da rede GNSS, para determinação dos vértices, que compõem as poligonais dos imóveis rurais.

### 3.3 SATÉLITES DE POSICIONAMENTO

O desenvolvimento das constelações de satélites Galileo e Beidou/Compass, aliado as atualizações do sistema GPS e Glonass, oferece novas expectativas e perspectivas para os usuários. Por um ponto de vista, os dois sistemas disputam entre si, no que se refere ao cronograma definido para sua modernização e desenvolvimento. Por outro, o uso da constelação de satélites Galileo e Beidou/Compass será compatibilizado e factível de ser integrado ao GPS e Glonass, trazendo grandes benefícios para o planeta. Dessa forma, podem ser aproveitados alternadamente ou combinados, contribuindo para melhora da performance global (COJOCARU et al., 2009).

A convergência das portadoras L1, L2 e L5 possibilitaria controlar e reduzir os efeitos de ionosfera e troposfera. Situação similar deverá ocorrer com o Galileo e Beidou/Compass, pois as portadoras são mesmas da rede GNSS. Considerando o caso da modernização do GPS e com relação à solução da ambiguidade, a nova estrutura de sinal gera benefícios aos usuários. Além das combinações lineares de observáveis denominadas *Wide Lane* (WL) e *Narrow Lane* (NL), será possível formar a *Extra Wide Lane* (EWL) e a *MediumWide Lane*. Tais combinações, em conjunto com as observáveis das pseudodistâncias nas portadoras L1/L2 (código C/A e P) e L5 (código L5), subsidiará na solução imediata da ambiguidade (COJOCARU et al., 2009).

No que diz respeito às aplicações, fica claro que todos os benefícios da utilização das constelações GPS, GLONASS, GALILEO E COMPAS são contemplados, dentro do conceito de rede GNSS, apresentando resultados possivelmente confiáveis e seguros. No que concerne às aplicações modernas, destacam-se aquelas que requerem alto grau de segurança, como a aviação civil (SILVA; MARQUES, 2016).

### 3.3.1 Navstar/GPS

Este sistema de navegação espacial, que permanece em desenvolvimento sob a responsabilidade do Departamento de Defesa dos EUA (DoD), pode ser utilizado, em condições meteorológicas variáveis, atendendo a contento as necessidades dos usuários, de forma a definir, a posição, velocidade e tempo em relação a um sistema de referência posicional determinado para a localização no planeta. No entanto, esse sistema possui restrições para o uso civil, o que esclarece a deterioração da qualidade dos sinais causada pelo DoD, para equipamentos não geodésicos (ALMEIDA; DAL POZ, 2016).

O serviço intitulado *Standard Positioning Service* (SPS), refere-se à utilização civil, que possui uma restrição, denominada *Precise Positioning Service* (PPS). A exatidão do posicionamento de pontos deriva do tipo de serviço utilizado pelo usuário. *Navigation Information Service Bulletin Board* (NISBB) indica que a precisão atingida pelos usuários do SPS no ano de 2000 era da ordem de 100 m na horizontal, 145 m na vertical e 340 nanossegundos nas medidas de tempo, com nível de confiança de 95%, situação que obteve significativa melhora atualmente (MONICO, 2008).

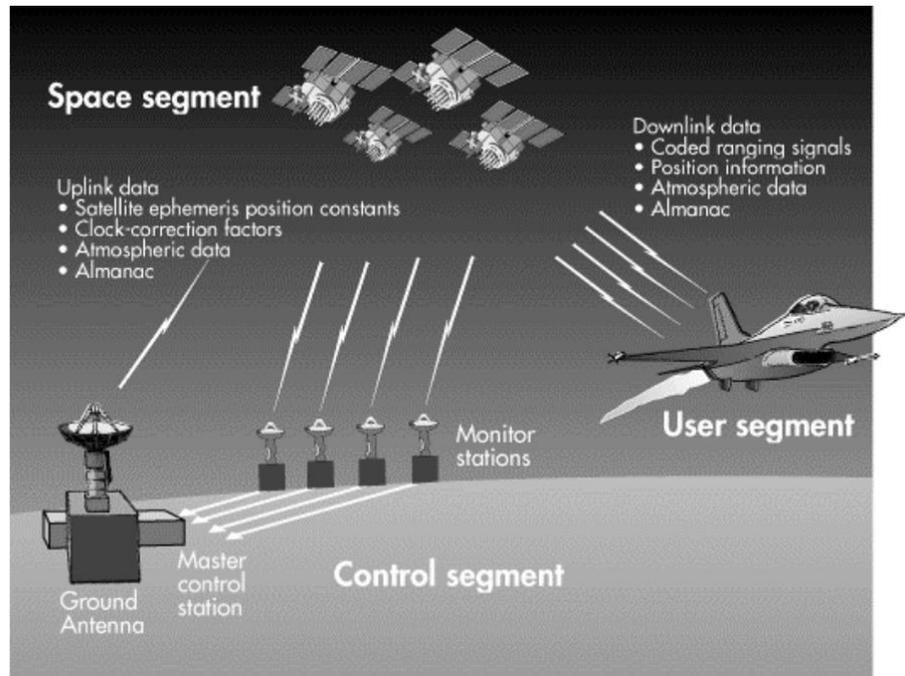
Em concordância com Werlich et al., (2015), existia o interesse em propiciar um serviço mais preciso e acurado, contudo isso poderia expor a segurança dos EUA. Ao visar garantir a segurança do sistema dos militares nortes americanos criou-se uma maneira de degradar a acurácia e precisão adotando, para isto, dois processos que limitam o posicionamento, em função de ocorrer limitação relativa ao sinal emitido pelos satélites do sistema. Para a frequência de uso militar foi designado o *Anti Spoofing* (AS), já para o uso civil o *Selective Availability* (SA).

O SA trata de um procedimento criptográfico do código P, um dos códigos empregados no GPS para alcançar medidas de distância, com a finalidade resguardá-las quanto a limitações por usuários não autorizados. O SA é capaz de deteriorar a acurácia através da manipulação das mensagens de navegação e da frequência dos relógios dos satélites, pois degrada o sinal do satélite (ALMEIDA; DAL POZ, 2016).

A partir de maio do ano de 2000, essa técnica de deterioração da acurácia para o uso civil foi abolida, melhorando algo em torno de dez, o seu nível de exatidão, fato ocorrido em função da instauração da disponibilidade seletiva. Os receptores capazes de operar com os dois códigos de correção são avocados de dupla frequência com as portadoras L1/L2 e atualmente L5. A exatidão que estes receptores trabalham é na ordem de 1 mm na horizontal e

de 5 mm na vertical e tal precisão é extremamente importante para estudos geodésicos e espaciais em micro e macro escalas (WERLICH et al., 2015). O segmento GPS consiste de três elementos principais: espacial, controle e de usuário (Figura 1).

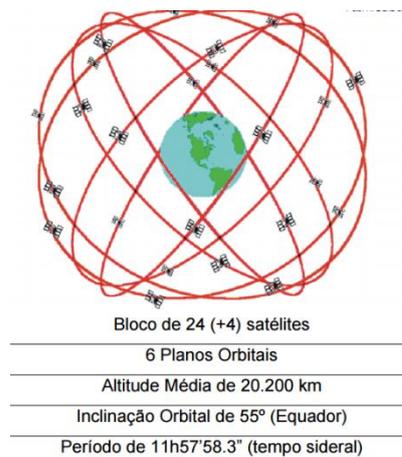
**Figura 1** - Segmentos do sistema de posicionamento por satélite.



Fonte: Monico (2008).

Os receptores integram o segmento de usuários, as estações de monitoramento compõem o segmento de controle, enquanto os satélites integram o segmento espacial do sistema GPS, que orbitam ao redor do planeta e são distribuídos em seis planos orbitais diferentes, a uma altitude de 20.200 km, com uma inclinação de 55° em relação ao equador, e com um período de revolução de 12 horas siderais (WERLICH et al., 2015). O que ocasiona uma reprodução na configuração dos satélites, com uma repetição de quatro minutos mais cedo, diariamente no mesmo local (Figura 2).

**Figura 2** - Planos Orbitais dos Satélites da constelação GPS.



Fonte: Monico (2008)

Tal configuração garante que, ao menos, quatro satélites GPS estejam visíveis em qualquer local da superfície terrestre ou acima dela, a qualquer hora do dia.

### 3.3.2 Glonass

Na década de 1980, a União Soviética iniciou o desenvolvimento do sistema de posicionamento por satélite denominado de Glonass, similar ao GPS norte-americano, que na época ainda possuía protocolo fechado e era utilizado para fins militares. O sistema soviético chegou a abranger 18 satélites orbitais em operação, no entanto, com o fim da União Soviética este projeto foi abandonado e, no ano de 2002, apenas sete satélites restavam em órbita. A partir de 2004 o Governo Russo determinou a recuperação do sistema Glonass e, para isso, instituiu a empresa *Information Satellite Systems* (ISS), que de maneira crescente, vem promovendo o lançamento de satélites novos, para substituição dos que estão alcançando seu limite de vida útil, com intenção de atingir cerca 25 satélites em operação (VENTORIM; DAL POZ, 2016).

Os satélites lançados até o ano de 2010, chamados Glonass-M, apresentam características de sinal melhores do que os do século passado. Sua expectativa de vida útil gira em torno de 7 a 8 anos. Após o ano de 2010, uma série nova de satélites foi lançada, avocados Glonass-K, com vida útil prevista para 10 anos. Hoje em dia os satélites Glonass emitem seu sinal em frequências compatíveis com os sistemas GPS, Galileo e Beidou/Compass. Embora cada satélite Glonass emita seu sinal em uma frequência distinta (tecnologia FDMA), as dos satélites como GPS e Galileo, que utilizam tecnologia CDMA,

apresentaram alguns problemas até sua integração. Outra problemática, concernente à integração e compatibilidade era referente ao *Datum* empregado, para prover as coordenadas geográficas. Os russos e seus satélites Glonass utilizam um *Datum* particular denominado "PZ-90", ao passo que a constelação GPS utiliza o *Datum World Geodetic System* (WGS84), frequentemente utilizado em diversos países ocidentais (PINTO et al., 2013).

Conforme Ventorim e Dal Poz (2016) este sistema, assim como o GPS é constituído de três segmentos: espacial, de controle e usuário. Quando o segmento espacial estiver integralmente implementado, ele contará com 24 satélites distribuídos em três planos orbitais específicos. Cada plano de órbita conterá oito satélites orbitando de forma circular, com altitude de cerca 19.000 km e inclinação de 64,8°, tendo como referência o Equador.

As cinco estações terrestres compõem o segmento de controle, dispostas territorialmente na região pertencente à antiga União Soviética, localizadas em Moscou (Estação Principal), St. Petersburg, Ternopol, Eniseisk e Komsomolsk-na-Amure. O segmento do usuário é também formado pelos rastreadores pessoais e profissionais, da mesma forma que ocorre com o sistema GPS. O posicionamento é dado pelas equações transmitidas pelas mensagens de navegação. Com relação a situação do Glonass, não há uma política para prática de procedimentos de segurança com a finalidade de diminuir a acurácia dos sinais. Contudo ocorre diferença entre os sinais de alta acurácia e de acurácia padrão, destinados aos usuários autorizados e não autorizados, respectivamente (VENTORIM; DAL POZ, 2016).

### **3.3.3 Galileo**

O sistema Galileo idealizado como um projeto civil proporciona vantagens como melhor exatidão, maior segurança (possibilidade de transmitir e confirmar pedidos de ajuda em caso emergência) e é menos susceptível a problemas (o sistema tem a capacidade de testar a sua integridade automaticamente). Outra vantagem importante é a característica interoperabilidade com os demais sistemas de posicionamento por satélite, ou seja, adensa a disponibilidade de satélites das constelações existentes (PROL; CAMARGO, 2014).

Em sua plena operação o sistema será composto por um total de 30 satélites sendo, 27 operacionais e três reservas, estarão posicionados em três órbitas circulares a 23.616 km de altitude ao redor da Terra, inclinados de 56° em relação ao Equador, com período de revolução (órbita) de aproximadamente 14 horas.

Em seus estudos, Pinto et al. (2013) destacam que para o fornecimento de todos os serviços propostos, diferentes partes da infraestrutura do Galileo são necessárias para agrupamento dentro de três categorias, que são: as Componentes Global, Local e Segmento de Usuário.

O segmento espacial é constituído pela Componente Global, que é composta e estabelecida pelos satélites que compõe o sistema e o segmento de solo que controlam a constelação de satélites e missões. Já a Componente Local é necessária para prover os serviços de assistência local. O programa Galileo abrange o desenvolvimento de alguns ensaios com elementos locais selecionados para legitimar o desempenho e as interfaces entre o núcleo do sistema. Enquanto o Segmento de Usuário incide nos receptores apropriados a recepção dos sinais deste sistema (PROL; CAMARGO, 2014).

### **3.3.4 Beidou/Compas e Irnss**

Além dos sistemas de posicionamento por satélite que possuem alcance global, há também os de uso regional, tendo como exemplo o Beidou/Compass (Chinês) e o IRNSS (Indiano). O Compass, ou Beidou, recobre a China e países vizinhos. O sistema completo conterà no mínimo 35 satélites, sendo cinco geoestacionários e 30 de órbita média.

O sistema indiano de navegação por satélite, IRNSS, será composto por sete satélites. Três dos satélites serão colocados em órbita geoestacionária (órbita circular e ocorre sobre o equador da Terra) e os quatro outros em órbita geosíncrona (órbita na qual a velocidade de revolução de um satélite é igual à de rotação da Terra). A constelação será constituída também por um segmento de solo composto por um centro de controle principal e estações solo que permitem o monitoramento dos satélites e asseguram a integridade do sistema. (ODIJK et al., 2017).

Deste modo cresce a tendência de uso de receptores híbridos, ou seja, que recebem sinais provenientes de todos os sistemas já citados. Este processo tem a intenção de implantar estes sistemas de posicionamento, tanto nos equipamentos para fins topográficos ou geodésicos, quanto nos aparelhos de celulares, receptores veiculares, relógios etc. Este panorama visa permitir o uso dos diversos sistemas de navegação em aparelho único, propiciando maior cobertura, acurácia e segurança mesmo quando utilizados em centros urbanos. O uso destes sistemas oferece diversas vantagens para o posicionamento, e isto ocorre melhor ainda, quando aliados a disponibilidade de satélites, propiciando avanços como

a precisão em áreas com visibilidade restrita, melhoria da qualidade no posicionamento isolado (absoluto), maior possibilidade de obter boa geometria no rastreo e verificação dos resultados obtidos com o uso de cada sistema separadamente (ODIJK et al., 2017).

### 3.4 MÉTODOS DE POSICIONAMENTO

O posicionamento pela rede GNSS pode ser efetivado por métodos e procedimentos distintos. Neste item serão destacados somente aqueles que propiciam precisão adequada para serviços de georreferenciamento de imóveis rurais, tanto para a materialização de vértices de referência, quanto para o posicionamento de vértices de limites artificiais e naturais (INCRA, 2013).

#### 3.4.1 Posicionamento relativo

No posicionamento relativo, as coordenadas do vértice de interesse são definidas a partir de um ou mais vértices de coordenadas conhecidas, chamada estação base. Nessa situação é essencial que dois ou mais rastreadores GNSS realizem a aquisição de dados, ao mesmo tempo, em que pelo menos um dos rastreadores ocupe um vértice de referência. Utiliza-se no posicionamento relativo, as observáveis, denominadas fases da onda portadora e pseudodistância ou mesmo ambas em conjunto. Sendo que a fase da onda portadora oferece melhor precisão e por isso, ela é uma observável adequada para definição de coordenadas de vértices de apoio e vértices situados em limites artificiais (FERREIRA; FORTES, 2016).

O posicionamento relativo usando a observável é admitido para a definição de coordenadas de vértices situados em limites naturais. Pelo fato de existirem diversas situações para execução de atividades que necessitam de posicionamento relativo, usa-se a observável fase da onda portadora que é separada em quatro grupos, intitulados estático, estático-rápido, semicinemático e cinemático. O posicionamento relativo utilizando a observável pseudodistância é tratado como posicionamento relativo a partir do código C/A (WERLICH et al., 2015).

No posicionamento relativo estático, tanto os receptores dos vértices de referência quanto os receptores dos vértices de interesse devem permanecer estacionados (estáticos) durante o levantamento. Neste método, a sessão de rastreo se estende por períodos determinados (ver Tabela 1).

**Tabela 1** - Características técnicas para posicionamento relativo estático.

<b>Linha de Base (km)</b>	<b>Tempo Mínimo (min)</b>	<b>Observáveis</b>	<b>Solução da Ambiguidade</b>	<b>Efemérides</b>
0 - 10	20	L1 ou L1/L2	Fixa	Transmitidas ou Precisas
10 - 20	30	L1/L2	Fixa	Transmitidas ou Precisas
10 - 20	60	L1	Fixa	Transmitidas ou Precisas
20 - 100	120	L1/L2	Fixa ou Flutuante	Transmitidas ou Precisas
100 - 500	240	L1/L2	Fixa ou Flutuante	Precisas
500 - 1000	480	L1/L2	Fixa ou Flutuante	Precisas

Fonte: INCRA, 2013.

O posicionamento relativo estático-rápido é semelhante ao relativo estático, porém, a principal diferença é a permanência do tempo de rastreamento, que neste caso, geralmente é inferior a 20 minutos. O método de posicionamento semicinemático (*stop and go*) é uma transição entre o estático-rápido e o cinemático. O rastreador, que ocupa o vértice de interesse se mantém estático, entretanto com tempo de ocupação bem menor, necessitando coletar dados no deslocamento entre um vértice de interesse e outro. Quanto maior a duração da sessão de levantamento com a coleta de dados fidedignos, sem perdas de ciclos, melhor a precisão na definição de coordenadas. Como é necessária a aquisição de dados no deslocamento entre os vértices de interesse, este método não é indicado em locais que possuam muitas obstruções. Como os limites de imóveis rurais geralmente estão situados em locais com condições similares à exposta, os profissionais devem ficar atentos quanto à utilização deste método, pois os resultados em termos de precisão podem estar fora dos padrões estabelecidos na 3ª Edição da NTGIR (INCRA, 2013).

No posicionamento relativo cinemático, ao passo que um receptor está estacionado no vértice de referência, os outros receptores que realizam a aquisição de dados dos vértices de interesse ficam em movimento. A cada momento de observação, que é coincidente com o intervalo de gravação, é apurado um conjunto de coordenadas. Este método é adequado para o levantamento de limites de imóveis definidos por feições lineares, porém a sua utilização em locais com muitas obstruções é restrita, de acordo com o descrito para o método semicinemático (INCRA, 2013).

### 3.4.2 Posicionamento em tempo real

Os conceitos de posicionamento em tempo real se fundamentam na transferência imediata das informações de correções dos sinais de satélites, tanto dos receptores instalados nos vértices de referência, quanto dos receptores que rastreiam os vértices de interesse. Proporcionando assim a ciência, em tempo real, das coordenadas precisas dos vértices estabelecidos. No modo de RTK convencionalmente os dados de correção são transferidos por meio de um link de rádio do receptor instalado no vértice de referência aos receptores que rastreiam os vértices de interesse. A solução encontrada é uma linha de base exclusiva (BARBOSA, et al., 2010).

No posicionamento RTK em rede, há diversas estações de monitoramento contínuo atreladas a um servidor central, a partir do qual são disseminados, por meio da *web*, os dados de correção aos receptores móveis. Este método de posicionamento possibilita conseguir mais de um vetor, a depender do número de estações de referência envolvidas, e com isso efetuar o ajustamento das observações, proporcionando maior precisão e controle. Essa tecnologia se disseminou pela disponibilidade de telefonia celular, do tipo GSM, GPRS, 3G e 4G. Esta tecnologia tem sua aplicação limitada, muito em função dos entraves referentes a disponibilidade de serviços de telefonia celular na área de trabalho, situação comum nas áreas rurais brasileiras (INCRA, 2013).

O posicionamento *Differential Global Positioning System* (DGPS) tem como base, princípios similares ao RTK, entretanto a observável usada é a pseudodistância originada do código C/A. Assim sendo, este método fornece precisão inferior ao RTK e sua aplicação nos serviços de georreferenciamento de imóveis rurais fica restrita ao posicionamento dos vértices situados em limites naturais (BARBOSA, et al., 2010).

### 3.5 SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO GEORREFERENCIAMENTO

Como mostram Dial e Grodecki (2003), Fraser et al. (2002), Dowman e Tao (2002), Toutin et al. (2002), Fritsch e Stallmann (2000), Zoej et al. (2002) e Castejon et al. (2015), as distorções geométricas existentes em sensores orbitais são passíveis de modelagem e correção. Entretanto, o conhecimento exato das distorções e o seu perfeito modelamento não é possível, assim, o que se tem feito é utilizar técnicas que tentam se aproximar do efeito real. Nota-se um grande número de ferramentas destinadas a compensar os erros presentes nas

imagens adquiridas por um dado tipo de sensor. Com esse objetivo, vários pesquisadores têm apresentado soluções para modelar e corrigir as distorções.

De acordo com Chong e Pearson (1998), o processo no qual os erros geométricos são corrigidos é conhecido como correção geométrica ou retificação geométrica. Para tal fim, com o objetivo de efetuar um correto relacionamento entre imagens de sensoriamento remoto com um referencial terrestre, um processo de transformação conhecido como *geocoding* é executado utilizando pontos de controle (latitude, longitude e altitude). Assim, correção geométrica e *geocoding* são frequentemente combinadas em um único processo e esta operação de retificação é chamada de georreferenciamento.

Apesar do desempenho satisfatório dos métodos de correção geométrica oferecidos por alguns pacotes de programas específicos, as imagens orbitais corrigidas ainda permanecem com imprecisões posicionais, tendo em vista que os dados auferidos para a correção de sistema possuem margem de erro, até porque, são realizadas aproximações na conexão das informações de atitude do satélite. O processo de georreferenciamento das imagens minimiza o erro de posicionamento remanescente. Essa é a etapa derradeira do processamento de correção das distorções geométricas da imagem, e deve ser executada por usuário habilitado (CASTEJON et al., 2015).

O georreferenciamento de uma imagem orbital é um processo que trata de determinar coordenadas conhecidas num dado sistema de referência espacial, inicia-se com a aquisição de coordenadas em um determinado sistema projetivo e suas equivalentes coordenadas espaciais de pontos da imagem a ser corrigida. O objetivo do georreferenciamento é a inserção de um sistema projetivo nas imagens orbitais. A dificuldade incide em integrar dois sistemas de coordenadas (real e mapa), por meio de relações geométricas seguras. Logo, quando se completa o georreferenciamento, a imagem passa a ter coordenadas determinadas por um sistema de projeção geográfica. Todos os pixels poderão ser identificados por coordenadas geográficas, da mesma forma que se localiza um objeto ou uma feição numa carta topográfica ou terreno. O georreferenciamento é uma intervenção fundamental no processo de integração da imagem a uma base de dados espaciais num sistema de informação geográfica (OLIVETE; TOMMASELLI, 2014).

Os coeficientes determinados com base nos pontos de controle são armazenados como uma matriz de transformação. A dimensão da matriz varia em função da ordem de transformação. O objetivo da transformação é solucionar as equações polinomiais e transformações mais complexas (projetivas ou não), para as quais existe o erro mínimo, sendo

elas utilizadas para converter as coordenadas de referência dos pontos de controle em coordenadas projetadas numa imagem. O método da regressão dos mínimos quadrados é empregado para calcular a matriz de transformação, a partir dos pontos de controle. Todo ponto de controle gera influência nos coeficientes, mesmo sem existir coincidência perfeita com os coeficientes que representam o polinômio (CASTEJON et al., 2015).

### 3.6 EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DAS IMAGENS ORBITAIS

Conforme enfatizam Souza et al. (2016), os progressos tecnológicos referentes às imagens orbitais, por meio do desenvolvimento de sensores cada vez mais modernos, passam a propiciar imagens, a cada dia, com resoluções espaciais ainda melhores que, aliadas às técnicas de extração de informações e ao desenvolvimento de *softwares* de processamento de imagens, os diversos usuários passam a dispor de uma diversidade de formas para alcançar a aplicabilidade das imagens em campos variados da ciência que, utilizam-se da análise e levantamento de recursos de dados espaciais.

Um grande benefício advindo das imagens de sensoriamento remoto é a possibilidade da interpretação dessas imagens de forma visual sem grandes problemas, possibilitando o desenvolvimento de associações simples entre as feições observadas na imagem e o conhecimento do observador como mundo real (BIAS, 2003).

Todavia, há características distintas entre as imagens de sensoriamento remoto que devem ser consideradas pelo usuário no momento da escolha e interpretação das imagens, pois, a depender destas características peculiares, algumas imagens poderão ser mais úteis que outras para determinadas aplicações. Ainda que seja significativo reconhecer todas as características de uma imagem, os fatores referentes à resolução espacial e espectral são, na prática, os que diferenciam uma imagem de outra e definem o tipo de aplicação da que pode ser aproveitada (SOUZA et al., 2016).

As imagens orbitais podem ser divididas em grupos relacionadas às suas resoluções espaciais: as de baixa e média resolução e as de alta resolução. A importância dessas imagens está diretamente relacionada com o tipo de aplicação. Define-se uma imagem como de baixa ou média resolução quando a mesma possui resolução espacial maior do que 5 metros, dentre as quais cita-se as dos satélites Cbers, Rapideye, Landsat e Spot. As imagens de alta resolução são definidas como as decorrentes de um processo avançado no campo da tecnologia de

recepção de informações, possuindo resolução espacial menor do que 1,5 m, dentre as quais sobressaem as imagens dos satélites Ikonos, Quick Bird, Geoeye e Worldview (BIAS, 2003).

A aplicação das imagens de alta resolução está movimentando o mercado de usuários, tendo em vista que estas resoluções permitem a visualização de objetos não visíveis até então, sobretudo com uso de imagens orbitais alta resolução. A Tabela 2 apresenta a classificação dos satélites, quanto a sua resolução espacial.

**Tabela 2** - Satélites de baixa, média e alta resolução espacial.

Satélites	Resolução Espacial	Classificação
Cbers, Rapideye, Landsat e Spot	> 2 m	Baixa e média resolução
Ikonos	1 m	(Alta Resolução)
Quick Bird	0,70 m	(Alta Resolução)
Geoeye 1	0,41 m	(Alta Resolução)
Geoeye 2	0,25 m	(Alta Resolução)
WorldView 2	0,50 m	(Alta Resolução)
WorldView 3	0,31 m	(Alta Resolução)

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com o que aponta Bias (2003) em sua análise, a resolução espacial está intimamente relacionada com o tamanho do menor objeto que é possível discretizar na imagem. Assim sendo, o usuário deve eleger suas imagens conforme a magnitude da escala do seu trabalho, ou seja, a resolução espacial da imagem deve ser equivalente ao tamanho do menor objeto que se deseja observar. Existem duas maneiras simples para determinar o tipo de resolução espacial que deve ser utilizada, uma delas é propor uma relação entre a resolução e a escala do trabalho, e a outra é definir o tamanho da resolução espacial, segundo o tipo de informação que se deseja obter.

### 3.6.1 Satélite de alta resolução

#### 3.6.1.1 IKONOS

Em janeiro do ano de 2000 o *IKONOS* se tornou o primeiro satélite de observação do planeta a oferecer imagens de alta resolução para fins comerciais e além destas aplicações,

ainda possui um amplo espectro de aplicações em trabalhos científicos, que primam por dados e informações pormenorizadas da superfície da terra (EMBRAPA, 2015).

O satélite IKONOS transporta sensores que atuam no visível e infravermelho próximo e obtém imagens pancromáticas e multiespectrais com resolução espacial de um metro e quatro metros, respectivamente. Ademais, existe a possibilidade de fusão de imagens pancromática com dados multiespectrais para a geração de imagens coloridas, o que permite facilitar a interpretação visual e substituir em muitos casos, o uso de fotografias aéreas. O prazo máximo de revisita oferecido pelo sensor é de três dias para latitudes com cerca de 40°, mas o período de revisita pode ser menor em latitudes maiores. O sensor também é adequado para realizar visadas inclinadas e laterais, obtendo imagens de forma mais ágil e também possibilitando a geração de pares estereoscópicos para processos posteriores de restituição (EMBRAPA, 2015).

Um dos elementos técnicos que chama a atenção dos novos usuários de imagens orbitais de alta resolução IKONOS, concerne à sua característica de possuir 11 bits, que propicia uma maior riqueza de informações, pois neste caso, cada pixel poderá assumir um valor de zero a 2047 níveis de cores, isto porque as imagens de outros satélites anteriores trabalhavam com oito bits, podendo somente alcançar no máximo 256 níveis de cores (TOUTIN, 2004).

### 3.6.1.2 QUICKBIRD

Em seus estudos Petrie (2002) sugere que o satélite *QuickBird* foi delineado e construído por meio da cooperação entre as empresas norte-americanas *DigitalGlobe*, *Ball Aerospace Technologies*, *Kodak* e *Fokker Space*. O primeiro lançamento em novembro de 2000 não foi bem-sucedido, vindo a ser lançado em órbita com sucesso, no dia 18 de outubro de 2001, pela missão Boeing Delta II, na Base Aérea de Vandenberg, na Califórnia. É um satélite de alta precisão que oferece imagens comerciais de alta resolução espacial.

Esse sensor oferece imagens com 0,61 m de resolução espacial no modo Pancromático (PAN), 2,4 m no modo Multiespectral (MS) e uma imagem denominada *Pan-sharpened*, que possui 0,70 m de resolução espacial, em composição colorida ou falsa-cor. As imagens PAN e MS são adquiridas com 11 bits de resolução radiométrica. Juntamente com as imagens, são fornecidos os arquivos contendo os dados de suporte à imagem, os quais possuem as informações imprescindíveis para a correção geométrica e os Coeficientes Polinomiais

Racionais (RPC), computados a partir de informações da câmera do sensor e da órbita do satélite (BOSQUILIA et al., 2016).

O *QuickBird II* detém sensores do modelo *Charge Coupled Device* (CCD), que por atingirem varredura eletrônica em filamento linear, são maleáveis para visadas off-nadir até 30° ao longo da área imageada. A visada off-nadir possibilita a cobertura mais frequente do terreno e também a aquisição de pares estereoscópicos (Petrie, 2002). As informações adquiridas pelo *QuickBird II* são capturadas por duas estações em solo, a estação Fairbanks no Alasca (EUA) e Tromso na Noruega. A partir destas estações os dados são transmitidos para o centro de processamento da Digital Globe no Colorado, EUA (BOSQUILIA et al., 2016).

### 3.6.1.3 ORBVIEW / GEOEYE

A missão *OrbView*, ficou a cargo da Empresa *Orbiting Image Corporation* que agiu no desenvolvimento e operação dos quatro primeiros satélites da série. Em 2006, o controle dos satélites *OrbView* passou a ser realizado pela Empresa GeoEye, com sede fixada na Virgínia, EUA. A série é constituída por cinco satélites que possuem objetivos e instrumentos distintos entre si, contudo voltados ao uso comercial (EMBRAPA, 2017).

O primeiro satélite desta série, alcunhado *OrbView 1* ou *MicroLab 1* foi lançado em abril de 1995 para operar no imageamento atmosférico e previsão do tempo. Capaz de atuar tanto de dia quanto a noite com dois instrumentos sensores, o ODT e o GPS/MET (YANG; XIN, 2014).

Em seguida o *OrbView 2* ou *SeaStar*, foi projetado para operar em pesquisas na área de oceanografia, monitoramento ambiental e aquecimento global. Ele carrega a bordo o sensor *SeaWIFS* desenvolvido pela Agência Espacial Americana (NASA), lançado em 1997. O terceiro satélite da série, designado *OrbView 3* foi lançado no ano de 2003 e atuou até o ano 2007. Este satélite, posicionado em altitude baixa, foi projetado para obter imagens de alta resolução espacial para uso civil e apresenta configurações análogas a seu antecessor; já o *OrbView 4*, foi perdido após seu lançamento, em 2004. Ambos foram desenvolvidos com câmeras pancromáticas e multiespectrais, com 1 m e 4 m de resolução espacial respectivamente. A diferença entre os dois satélites está na câmera hiper espectral de 200 canais que o *OrbView 4* possuía (YANG; XIN, 2014).

Os satélites seguintes da série *OrbView* lançados e com planos para lançamentos futuros trouxeram seus nomes modificados para *GeoEye*. O satélite *GeoEye-1* foi lançado em

setembro de 2008 e atinge 0,41 m de resolução espacial no pancromático e 1,6 metros na banda multiespectral, com provimento de imagens direcionado às grandes empresas desenvolvedores de soluções em *web*, já O satélite *GeoEye-2*, já atinge resolução espacial de 25 cm (YANG; XIN, 2014).

#### 3.6.1.4 WORLDVIEW

A missão *WorldView* trouxe seu primeiro lançamento de satélite em 2007, denominado *WorldView 1* e o segundo em 2009 intitulado *WorldView 2*. Ambos detêm um sensor pancromático de alta resolução, além das bandas multiespectrais inseridas no *WorldView 2*, possuindo 0,5 m de resolução espacial. Além disto, o *WorldView 2* possui capacidade de coleta de imagens em curto espaço temporal (LI et al., 2017).

Sua principal inovação se refere aos novos sensores, pois foi primeiro satélite de mercado a possuir oito bandas multiespectrais. Assim, ele pode auxiliar na identificação de objetos e feições permitindo análises até então não realizadas. Além das tradicionais quatro bandas, vermelha, verde, azul e infravermelho, este sensor possui quatro bandas suplementares, sendo o azul Coastal, aplicável a trabalhos oceanográficos, o amarelo, indicado para distintas classificações, o vermelho limítrofe e infravermelho-2, volvidas para análises e classificações de vegetação e estudos de biomassa. Eles são satélites de uso comercial, precursores na utilização da tecnologia *Control Moment Gyroscopes* (CMG), que atribui agilidade ao satélite na obtenção de imagens. Com o CMG, o tempo gasto para fazer a cobertura de uma faixa de 300 km, foi reduzido de 60 segundos para nove segundos, significando que o satélite *WorldView 2* possui alta mobilidade de um alvo para outro com precisão e rapidez, admitindo a observação de múltiplos alvos em uma única passagem orbital. (LI et al., 2017).

O sensor PAN (Figura 3) a bordo o *WorldView 2* realiza a aquisição de imagens de resolução espacial submétrica, que alcança 0,5 m. Orbita a uma altitude de 496 quilômetros, com tempo médio de revisita de 1,7 dias. A utilização do sensor PAN é ideal para atividades que exigem alto nível de detalhes e precisão, sendo que os produtos podem alcançar escalas cartográficas de até 1:2000 (EMBRAPA, 2017).

**Figura 3** - Sensor Pancromático, Satélite WorldView.



Fonte: Digital Globe (2015).

A bordo do *WorldView 2*, o sensor MS (Figura 4) traz oito bandas de multiespectro. O sistema *WorldView 2* é capaz de coletar até 975.000 Km quadrados de dados por dia. (Li et al., 2017). Em fevereiro de 2015, foi iniciada a disponibilização das imagens do sensor *WorldView 3*, o mais recente satélite da série. É o satélite precursor no que tange a aquisição imagens de alta resolução com capacidade superespectral, levando a bordo um sensor SWIR (Infravermelho em ondas curtas) e um sensor CAVIS (nuvens, aerossóis, vapor de água, gelo e neve), alcançando uma resolução espacial de 0,31 m na banda pancromática.

**Figura 4** - Sensor Multi Espectral, Satélite WorldView.



Fonte: Digital Globe (2015).

### **3.6.2 Satélites de baixa e média resolução espacial**

#### **3.6.2.1 CBERS**

O Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres, surgiu do programa (CBERS) é fruto de uma cooperação entre Brasil e China no setor técnico-científico espacial. Deste modo, o Brasil adentrou ao seletivo grupo de países que detêm tecnologia de geração de dados primários através do sensoriamento remoto (INPE, 2018).

Um dos produtos dessa parceria foi a aquisição de uma ferramenta para monitoramento de seu extenso território por sensoriamento remoto, buscando solidificar uma importante autonomia neste segmento. O projeto CBERS contemplou num primeiro momento somente dois satélites de sensoriamento remoto, CBERS-1 e 2. O triunfo do lançamento através do foguete chinês Longa Marcha 4B e sua perfeita operação dos CBERS-1 e CBERS-2 gerou efeitos imediatos na a geração de dados espaciais (INPE, 2018).

Os governos dos dois países resolveram ampliar o pacto e adicionar outros três satélites da mesma categoria, os satélites CBERS-2B e os CBERS-3 e 4, como uma segunda etapa da

cooperação Sino-Brasileira. A família de satélites de sensoriamento remoto CBERS gerou avanços científicos significativos ao Brasil. No país, praticamente todas as instituições ligadas ao meio ambiente e recursos naturais são usuárias das imagens do CBERS (BOGGIONE et al., 2014).

O sensor CBERS permite o monitoramento constante da cobertura do solo no país, envolvendo diferentes áreas de interesse. Dentre eles destacam-se a possibilidade de identificação de regiões de queimadas e incêndios florestais, habitats de animais e fragmentos de vegetais. Além do mais, foi utilizado para a classificação da cobertura vegetal no monitoramento de desmatamento (BOGGIONE et al., 2014).

A simplicidade acerca do monitoramento reside na disponibilização gratuita das imagens através do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em seu *web site*. Este ambiente possibilita realizar pesquisa por estado, município, período de interesse, coordenadas geográficas, dentre outros parâmetros (INPE, 2018).

#### 3.6.2.2 RAPIDEYE

O *RapidEye* faz referência a uma constelação de cinco satélites que possuem sensores análogos e estão no mesmo plano orbital, sendo sua calibração, a mesma para toda constelação. Isso denota que uma imagem obtida por este satélite será igual em termos de características de imageamento em relação aos demais satélites da constelação (KRISCHKE et al., 2000; BLACKBRIDGE, 2013). No princípio do ano de 2009, este sistema originário da Alemanha, se tornou o primeiro satélite multiespectral a obter imagens na faixa espectral denominada *red-edge*, situado entre vermelho e o infravermelho próximo (BLACKBRIDGE, 2013).

Neste sentido, a determinação e conhecimento de área ocupada pela vegetação natural, agricultura, produção mineral e áreas urbanas entre outros, é essencial aos legisladores dos recursos terrestres, quando se considera à necessidade de atualização dos dados. Deste modo, os dados de sensoriamento remoto estão sendo bastante utilizados no mapeamento de recursos naturais (SOUZA et al. 2016).

Desta maneira, a classificação de uso e cobertura do solo constitui-se como dados essenciais no monitoramento da qualidade do meio ambiente e da fertilidade e produtividade da terra (BLACKBRIDGE, 2013). O satélite *RapidEye* foi previamente idealizado para atender, sobretudo, às aplicações concernentes ao monitoramento agropecuário, incluindo-se

as áreas agrícolas de curta extensão da Europa (KRISCHKE et al., 2000; TAPSALL et al., 2010).

Em 2012, o Brasil, por intervenção do Ministério do Meio Ambiente (MMA), passou a ser o principal país consumidor de imagens *RapidEye*. O objetivo dessa aquisição foi auxiliar as atividades previstas no Cadastro Ambiental Rural (CAR), que surgiu no âmbito do novo Código Florestal Brasileiro, Lei no. 12.651 de 25 de maio de 2012.

O CAR possui a finalidade de subsidiar o processo de regularização ambiental de propriedades rurais e consiste na determinação de limites de cada imóvel rural, assim como as Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL), de forma a possibilitar o diagnóstico e monitoramento do meio ambiente em nível de propriedade. O Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) permitirá o monitoramento de mais de cinco milhões de propriedades rurais, com imagens do *RapidEye*, com 5 m de resolução espacial (SOARES-FILHO et al., 2014).

Para facilitar essa regularização ambiental, o MMA disponibiliza um sistema de consulta às imagens de todo o território nacional. Além disso, essas imagens estão sendo disponibilizadas para outros ministérios como Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), Ministério da Integração (MINT) e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e instituições vinculadas, secretarias estaduais de meio ambiente, universidades e institutos de pesquisa, mediante assinatura de termo de acesso às imagens e para fins não lucrativos.

### 3.6.2.3 LANDSAT

O *Landsat 6* foi delineado com o sensor *Enhanced Thematic Mapper* (ETM), com conformações similares ao seu precursor, trazendo novidades pela inclusão da banda 8 pancromática, possuindo 15 metros de resolução espacial. O sensor ETM evoluiu para o *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) lançado em 1999 a bordo do *Landsat 7*. Esta ferramenta foi capaz de expandir as aplicações e usos dos produtos *Landsat*. O que melhorou a exatidão do sistema, mantendo os mesmos intervalos espectrais, estendendo a resolução espacial da banda 6 (infravermelho termal) para 60m, além de tornar a banda pancromática operante e permitindo assim a formação de composições coloridas com 15m de resolução espacial (NASA, 2015).

O INPE possui uma antena de recepção instalada em Cuiabá, que captura desde a década de 70, imagens de todo território brasileiro, o que representa um enorme e exclusivo acervo de dados sobre o Brasil. Este sistema orbital também é utilizado em pesquisas feitas pela Embrapa Monitoramento por Satélite. O prosseguimento da série aconteceu em 2013, pelo o lançamento do satélite *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM) ou também avocado Landsat 8 que opera com as ferramentas do *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal InfraRed Sensor* (TIRS). O sensor OLI dará continuação aos produtos gerados a partir dos sensores TM e ETM+, a bordo de plataformas antecedentes, além de incluir duas novas bandas espectrais, uma concebida para estudos de áreas costeiras e outra para detecção de nuvens do tipo *cirrus* (SOUZA et al., 2016).

#### 3.6.2.4 SPOT

Conforme Bosquilia et al. (2016), o sistema SPOT é um projeto espacial da França, similar ao programa *Landsat*, delineado e projetado desde seu início como um sistema operacional e comercial de observação do planeta. A composição e as funcionalidades do programa SPOT distinguem nitidamente, por uma ótica, as funções de gestão técnica do sistema, executadas pelo *Centre National d'Etudes Spatiales* (CNES), e por outra, a responsabilidade das operações atribuída a *SPOT Image*, uma empresa de propensão verdadeiramente comercial, no que tange as relações de proximidade entre a comunidade de usuários e a distribuição de informações, além da incumbência constante em propagar a "imagem" da tecnologia francesa no planeta, tendo como encargo certificar a eficaz gestão da capacidade de obtenção de imagens pelo satélite e transferência de dados a 21 estações receptoras equipadas e conveniadas em todo o planeta, como também desenvolver as normas e circuitos de disponibilização e negociação das imagens SPOT. Os benefícios que podem ser salientados desse satélite estão arrolados à possibilidade de imageamento “*off nadir*” bem como a obtenção de pares estereoscópicos. Sua órbita é circular a 832 km de altitude.

Os três primeiros satélites da série SPOT (lançados em 1986, 1990 e 1993) levaram a bordo sensores HRV, capazes de oferecer resolução espacial de 10 m e 20 m em modo pancromático e multiespectral, respectivamente. O quarto satélite, lançado em 1998, inovou com o acréscimo do sensor VEGETATION e alterou alguns parâmetros do sensor HRV, transformando-o no sensor HRVIR. O quinto satélite da série foi lançado em 2005, com três tipos de sensores a bordo: HRG (evolução do sensor HRVIR com aumento na resolução espacial das imagens e retorno do canal pancromático), o sensor VEGETATION-2 (idêntico

ao seu antecessor) e o novo sensor HRS especializado em adquirir imagens com pares estereoscópicos. O SPOT-6 foi lançado em 2012 com sensor óptico de 2,2 m de resolução espacial, garantindo a continuidade de uso das imagens da série (EMBRAPA, 2017).

### 3.7 TEORIA DE AMOSTRAGEM

Nogueira Júnior (2003) indica em sua pesquisa, que a teoria da amostragem é uma ciência que trata das afinidades existentes entre uma população e suas amostras extraídas. É possível analisar grandezas não conhecidas da população (como sua média, sua variância, desvio-padrão), designadas de parâmetros, por meio de suas correspondentes grandezas amostrais, chamadas de estatísticas amostrais. O objetivo da coleta da amostra define a forma de amostragem a ser empregada. As maneiras de planejamentos amostrais utilizadas neste trabalho são as amostragens: aleatória estratificada, por grade regular e intencional (por julgamento).

#### 3.7.1 Formas de amostragem

A amostragem aleatória estratificada consiste em dividir a população em agrupamentos, com características semelhantes e exclusivas, denominados estratos, e em eleger amostras aleatórias simples independentes de cada estrato. A estratificação de uma população faz sentido quando é possível identificar subpopulações que variam muito entre si, no que diz respeito à variável em estudo, mas variam pouco dentro de si. Nestas condições, uma amostra estratificada pode fornecer resultados mais precisos, do que uma amostra simples extraída do conjunto da população. Esta eficiência será ainda mais importante, se a variável estratificada, se encontrar correlacionada com outras variáveis, como por exemplo, área geográfica, o que permitirá estratificar simultaneamente segundo várias variáveis, desde que se assegure uma adequada representatividade dos estratos existentes na população (ADAMI, et al., 2010).

Na amostragem por grade regular, uma malha regular virtual é gerada sobre a área de estudo por meio de um SIG, dividindo o campo em polígonos regulares (quadrados ou hexágonos, por exemplo). Dentro de cada polígono são gerados pontos amostrais, que podem ser localizados no centro, de forma aleatória ou por julgamento. Já na amostragem intencional, ou por julgamento, os elementos que farão parte da amostra são escolhidos propositalmente pelo investigador, dentro de determinadas características, como por exemplo, pertencer a um determinado grupo julgado como de interesse (NOGUEIRA JÚNIOR, 2003).

### 3.8 CORREÇÃO GEOMÉTRICA DE IMAGENS ORBITAIS

A correção geométrica abrange a modelagem relativa à afinidade entre a imagem e o sistema de coordenadas da superfície terrestre. Os tipos de correção geométrica dividem-se em modelos polinomiais, ou registro, e modelos fotogramétricos. O primeiro utiliza funções polinomiais definidas, utilizando pontos de controle, de correção independente, dentre os quais as fontes de distorção são analisadas e modeladas de maneira independente. Já os modelos fotogramétricos utilizam dados de órbita do satélite e padrões do sensor para vincular um ponto da imagem ao seu correlato no terreno. A correção geométrica utilizando modelos polinomiais gera benefícios, por ser de fácil execução e não demandar conhecimento prévio de informações, sobre parâmetros de órbita e sistema sensor, em contrapartida podem ocasionar resultados insatisfatórios, quando não se empregam pontos de controle (CASTEJON, 2015).

Essa correção é importante, devido às imagens obtidas através de satélites em nível orbital apresentarem deformações, que são intrínsecas à plataforma (velocidade, altitude e posição), ao equipamento, ao modelo de sensor (varredura mecânica ou eletrônica) e ao modelo do planeta (rotação, esfericidade, relevo, etc.). Importante ainda salientar, que ao se instituir uma relação, com um Sistema de Informações Geográficas (SIG), aliado a uma base de dados, torna-se necessário, que empregue uma referência espacial adequada (SILVA et al., 2012).

A alta resolução espacial das imagens em nível orbital possibilita o registro de uma maior abundância de aspectos por unidade de área, ocasionando extrema dificuldade de retirada dessas informações de maneira automatizada, apesar disso, a alta resolução permite o registro de aspectos com apropriada definição, propiciando maior agilidade na correção da geometria das imagens, ainda que seja um processo minucioso, demandando bastante cuidado no processo de retirada de coordenadas de referência, com acurácia alta (CASTEJON, 2015).

A eficácia dos métodos de cálculos de maneira computacional, vinculada a uma maior simplicidade na determinação de feições, para o processo de correção geométrica avaliza a integração de variáveis, que anteriormente não eram consideradas, como é o caso das inseguranças das coordenadas de referência, que decorrem da qualificação das observações em campo e do modelo de transformação geométrica em virtude dos parâmetros computados, a partir de uma determinada quantidade de observações. Entretanto, a conexão entre novas variáveis acaba por se tornar imprescindível, para imagens de alta resolução espacial, tendo

em vista que a credibilidade do produto gerado, a partir dessas imagens está sujeita, literalmente, ao controle de todo o processo envolvido na correção da geometria da imagem orbital (SILVA et al., 2012).

### 3.9 ORTORRETIFICAÇÃO DE IMAGENS ORBITAIS

O processo de ortorretificação expressa o controle e minimização das distorções ocasionadas pela alteração da altura do sensor, enquanto ocorre a tomada de imagens, além de ajustar as deformações alusivas ao relevo. De maneira similar, as imagens orbitais comportam também distorções relativas ao ângulo de inclinação do sensor e às mudanças da altitude. O processo para a minimização dessas distorções tem a finalidade de deixar a imagem isenta de distorções e é intitulado de ortorretificação, alterando assim a imagem de uma projeção cônica, para uma ortogonal, e conservando constante a escala em toda a imagem ortorretificada considerando também, as distorções referentes à plataforma e à curvatura da Terra (BERVEGLIERI et al., 2015).

A ortorretificação se fundamenta em elementos da matemática, que espelham a realidade física referente à geometria obtida na visada do sensor. Com base nisto, considera-se as distorções que acontecem na tomada da imagem. As imagens em nível orbital, para uma adequada ortorretificação, utilizam informações de *Rational Polynomial Coefficients* (RPC), que são ou parâmetros orbitais, fornecidos pela estação com a imagem bruta, que retrata especificamente a atitude do sensor em relação a superfície da Terra no exato momento em que a imagem foi gerada. Também devem ser considerados outros elementos fornecidos, tais como a cena e um MDE, que represente da melhor maneira, a variabilidade do relevo (FRASER et al., 2006).

Ainda há um fator que tem impulsionado de forma significativa os estudos subsidiados por MDE: a disponibilização de modelos globais de forma gratuita. Nesse contexto, destaca-se o modelo SRTM, que ainda pode ser reprocessado por instituições ou usuários, a fim de que suas falhas sejam corrigidas e seu desempenho seja melhorado (FERRANTI, 2015).

Para retificar as distorções oriunda da geometria das imagens de alta resolução é indispensável a utilização de uma função matemática ou modelo (Santos et al., 2016), seja por meio de modelos empíricos ou por meio de modelos físicos e determinísticos. Já conforme Cheng et al. (2003), em meio aos múltiplos procedimentos tridimensionais que garantem conformidade geométrica, três podem ser usados em imagens de alta resolução espacial: o do

polinômio racional, com os parâmetros matemáticos inseridos pelo usuário; o racional polinomial, com parâmetros municiados pelos metadados da imagem e o modelo rigoroso.

No primeiro caso, Cheng et al. (2003), utilizam os RPC'S aliados aos *Ground Control Points* (GCP) adquiridos pelo usuário. Já o segundo procedimento utiliza um modelo empírico e estatístico que gera proximidade ao modelo físico do sensor. Esta metodologia foi usada em meio a década de 1980, e recebeu maior atenção com o surgimento do satélite Ikonos (Cheng et al., 2003). Estudos como o de Grodecki e Dial (2003), corroboram que este método é funcional, e apresenta suas características e aplicações. Este método permite a ortorretificação, com ou sem GCP e de forma direta. O terceiro método (modelo rigoroso), utilizado desde a década de 1970, é considerado como o mais clássico de todos, pois gera uma modelagem matemática da totalidade dos componentes físicos e da geometria de visada (satélite, terreno e sensor).

A maioria de trabalhos que visam resultados apropriados, para a confecção de ortomagens usa pontos de controle, para subsidiar este procedimento. É o caso dos estudos mencionados por Chmiel et al. (2004), que alertam para a influência de dados auxiliares como GCP no processo de correção geométrica de seus resultados.

Os GCP devem ser pontos facilmente identificados no terreno e na imagem, em geral com alto contraste espectral, com relação as suas adjacências na imagem, naturalmente identificáveis e que podem ser exatamente encontrados tanto no mapa, quanto na imagem. Segundo Santos et al., (2015), esses elementos podem ser localizados em interseções de retas, linhas satisfatoriamente longas ou centros de arco de círculos. Estes pontos devem ser bem-dispostos na imagem, sendo distribuídos nas bordas e no centro da área de interesse. Devem também, essencialmente, recobrir a totalidade da variação altimétrica da área imageada, considerando desde as cotas mais baixas, até as mais altas (TOUTIN, 2004).

Toutin (2004) oferece uma releitura de todo o processo de correção da geometria de imagens orbitais de alta resolução. Em meio aos temas indicados, merecem especial atenção as etapas de aquisição de pontos de controle e testes. Os resultados encontrados corroboram aqueles identificados por Wolniewicz (2004) e Jacobsen (2003), no que diz respeito a não necessidade de uma grande quantidade de pontos de controle para a confecção das ortomagens. Aproximadamente entre seis e nove pontos são necessários a depender das informações disponíveis, da qualidade (se é ou não foto identificável) dos GCP e da dimensão da área a ser trabalhada. Para que se tenha ciência, com maior segurança da quantidade de pontos a serem coletados deve-se avaliar a área (forma e tamanho), as imagens e a exatidão

pretendida (TOUTIN, 2004). O entrave referente a geometria das imagens ortorretificadas está sujeito a qualidade dos pontos de controle adquiridos para uma determinada imagem, sendo que estes pontos irão determinar a propagação de erros e pelo erro final do processo de correção (BERVEGLIERI et al., 2015).

Para levantamento dos GCP, admite-se tanto o método relativo estático, quanto o posicionamento em tempo real, de acordo com Cheng et al. (2003). No método relativo, a localização de um receptor base deve ser conhecida e comparada aos valores obtidos no cálculo com os valores de referência e desta maneira computado os erros para corrigir as medições em cada ponto em determinado instante. Esses erros, supondo ser o mesmo pela homogeneidade das fontes de erro (principalmente a atmosfera), são aplicados aos demais receptores (rover). Já o posicionamento RTK é baseado na solução da portadora dos sinais emitidos pelos sistemas globais de navegação por satélite (GPS, Glonass, Galileo e Beidou). Uma estação de referência (base) fornece correções instantâneas para estações móveis (rover), fazendo com que a precisão alcance níveis centimétricos. (BERVEGLIERI et al., 2015)

### 3.10 PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA (PEC)

O Decreto nº 89.817/1984 regulamenta as normas técnicas referentes à cartografia do país, por meio de métodos e padrões a serem satisfeitos na preparação e apresentação de documentos cartográficos no território do Brasil, instituindo o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), e sua classificação dividida em: Classe A, B e C. O Decreto indica em um de seus artigos, que 90% dos pontos bem definidos numa carta, quando avaliados no terreno, não deverão exceder o erro estabelecido, de acordo com a escala de trabalho, denominado como PEC. Esse erro está inteiramente vinculado à classificação de uma carta quanto à sua exatidão e é usado como instrumento básico para o controle de qualidade de um trabalho em cartografia (BRASIL, 1984).

O PEC estabelece procedimentos e padrões a serem obedecidos na elaboração e apresentação de documentos cartográficos no território brasileiro. A norma a ser seguida em relação à exatidão específica, que as cartas devem obedecer aos critérios indicados (BRASIL, 1984): 1. 90% dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao PEC planimétrico, estabelecido; 2. 90% dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao PEC altimétrico, estabelecido.

O PEC é uma referência estatística de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que determina a precisão de trabalhos cartográficos. A probabilidade de 90% obedece a 1,6449 vezes o Erro Padrão. O Erro-Padrão avulso em trabalho de cartografia, não poderá ultrapassar 60,8% do PEC (BRASIL, 1984).

Conforme Santos et al. (2016), a escala da carta indica a diferença das medidas aferidas no modelo e seu correlato na superfície. Tal situação acarreta algumas consequências, das quais vale destacar que, a escala depende do número de detalhes a ser representado, como também o grau de exatidão com que estes dados são obtidos. O PEC é analisado inteiramente, tendo como base a escala da carta.

A análise da exatidão posicional mostra sua acurácia, por meio da distribuição espacial do erro, de maneira que o usuário consiga ter um indicativo visual da fidedignidade das suas informações (SANTOS et al., 2016).

Contudo, em função da evolução tecnológica, o PEC não pode não ser adequado para atender as necessidades de uma cartografia digital e mais precisa. Vale lembrar que no Decreto 89817/84, não estão apreciados métodos para análise da cartografia digital, mesmo porque, na época de sua publicação, havia escassos experimentos apresentados nesta área.

Com o surgimento do sistema de posicionamento por satélite, o avanço da tecnologia digital, a cartografia também se inseriu nesta conjuntura, por meio da migração de suas informações para o ambiente computacional. Desta forma, torna-se necessária uma análise dos dados geoespaciais, com intuito de estabelecer os padrões e critérios para o controle de qualidade cartográfica (SANTOS et al. 2015)

Os progressos da tecnologia ressaltados na computação, particularmente na computação gráfica, ocasionaram mudanças profundas na cartografia. Os métodos de geração, atualização, controle de qualidade e uso dos mapas e cartas atravessaram mudanças significativas. O procedimento de avaliação da qualidade dos mapas, indicado para um produto originado da cartografia analógica, necessitou de revisão, pois atualmente o documento cartográfico (mapa digital) possui características díspares em relação aos produtos analógicos (SANTOS et al. 2016).

Para a realização da cartografia digital é necessário que os usuários definam claramente as informações a serem representadas nos mapas, para desenvolvimento dos seus projetos e, qual exatidão posicional requerida.

O decreto 89.817/84 está a mais de 30 anos em vigor e já necessitava sofrer revisão, dado as alterações dos novos paradigmas tecnológicos. Assim, de modo recente, o Exército Brasileiro recomendou o PEC para Produtos Cartográficos Digitais (PAC-PCD), por meio da Especificação Técnica dos Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET-PCDG), particularização adotada atualmente na Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE).

### 3.11 QUALIDADE DE DADOS CARTOGRÁFICOS

Informações sobre posições, atributos e relações de feições no espaço são nomeadas como dados espaciais. Logo, trata-se de uma feição situada no espaço, por intermédio de um sistema previamente definido de coordenadas, o qual pode ser apresentado através de atributos e de sua relação com outros elementos (GUPTILL; MORRISON, 1997). Dessa forma, para um determinado elemento espacial tem-se: Posição, ocupada pelas entidades; Descrição, que determina os atributos das entidades e Relação, que determina a topologia das entidades.

A *International Cartographic Association* (ICA) adota aspectos relevantes na qualidade de dados cartográficos, podendo destacar a acurácia posicional, a análise de tendência e a análise de precisão (ICA, 2016).

#### 3.11.1 Acurácia posicional

Na cartografia e ciências correlatas, a qualidade dos seus produtos varia em função dos diversos parâmetros já descritos. De acordo com a intuição, o que vem à mente num primeiro momento é a qualidade posicional, que é um dos mais relevantes aspectos de qualidade de um produto originado da cartografia.

Num mapeamento, a posição de um objeto na superfície física é indicada por uma relação matemática. Neste sentido, a exatidão posicional denota a proximidade da posição “correta” do objeto num dado sistema de coordenadas. Os exames característicos para a avaliação da exatidão de um mapa são feitos em duas fases. A primeira versa sobre o teste de identificação de tendências, fundamentada na distribuição "t" de *Student*, quando são identificados a presença de efeitos sistemáticos. A segunda versa sobre a análise da precisão, fundamentada na distribuição Qui-Quadrado (SANTOS et al., 2016).

Estudos como de Santos et al. (2015) e Neto et al. (2017), indicam que com o advento da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), surgiram diversas especificações técnicas com a finalidade de regulamentar e padronizar os inúmeros processos relacionados à produção cartográfica nacional. Os autores, ainda enfatizam que existem vários métodos de avaliação da acurácia posicional que utilizam feições pontuais, sendo bastante similares. A semelhança entre os métodos ocorre, devido ao fato de realizarem a comparação entre a amostra de pontos de checagem, obtida em campo ou em algum dado espacial mais acurado, com a amostra de pontos homólogos no dado espacial em avaliação. A partir dos resultados gerados dessa comparação, diversas formulações e testes estatísticos são de acordo com a norma de acurácia posicional utilizada.

### 3.11.2 Análise de tendência

A avaliação de tendência de uma carta é fundamentada em julgamentos estatísticos referentes às discrepâncias entre as coordenadas obtidas em campo ( $X_i$ ) e as suas correlatas notadas na carta ( $X_{ic}$ ), calculadas para cada ponto "i" (Equação 1):

$$\Delta X_i = X_i - X_{ic} \quad \text{Eq. (1)}$$

A média ( $\overline{\Delta X}$ ) com também, a variância ( $S_{\Delta X}^2$ ) das discrepâncias amostrais, podem ser computadas, respectivamente (ver Equações 2 e 3):

$$\overline{\Delta X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i \quad \text{Eq. (2)}$$

$$s_{\Delta X}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \overline{\Delta X})^2 \quad \text{Eq. (3)}$$

em que n = tamanho da amostra

Para a efetivação do exame de tendência, se admite as hipóteses (Equações 4 e 5):

$$H_0 : \Delta X = 0 \text{ (Hipótese nula)}, \quad \text{Eq. (4)}$$

$$H_1 : \Delta X \neq 0 \text{ (Hipótese alternativa)}, \quad \text{Eq. (5)}$$

Em seguida, deve-se avaliar a estatística amostral "t", e examinar se o valor de "t" amostral está contido no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula. O valor de "t" amostral (para "n" menor que 32) é alcançado a partir da Equação 6.

$$t_x = \frac{\overline{\Delta X}}{s_{\Delta X}} n^{1/2} \quad \text{Eq. (6)}$$

O intervalo de confiança referente ao teste “t” de *Student* é conferido pela Equação 7.

$$|t_x| < t_{(n-1, \alpha/2)} \quad \text{Eq. (7)}$$

Isto é, caso o módulo do valor medido para a estatística “t” seja menor que o valor de “t” tabelado, contendo n-1 graus de liberdade e nível de nível de significância  $\alpha$ , se aceita a hipótese nula de que a carta a ser apreciada não possui de tendências significativas. No momento em que a estatística “t” amostral não atender a disparidade (Eq. 7), rejeita-se a hipótese nula, desta forma, não se pode considerar a carta com ausência de tendências significativas, para o nível de significância determinado (NOGUEIRA JÚNIOR, 2003).

A ocorrência de tendência em alguma direção constitui a existência de restrições, contudo uma vez conhecida, o seu efeito pode ser minimizado, em decorrência da diminuição de seu valor a cada coordenada constante na carta. O cumprimento dessa metodologia na cartografia digital é realizado por meio de algoritmos e *softwares* adequados, pois posterior ao conhecimento da tendência, a operação de subtração da mesma pode ser realizada de uma vez só, em todos os alvos da carta (SANTOS et al., 2015).

Inicialmente se admite que o desvio-padrão populacional não é conhecido. No entanto, podem ocorrer situações as quais, empregando-se esse teste a um conjunto de informações tendenciosas, o mesmo pode ser considerado ausente de tendências a um intervalo de confiança previamente definido. Indica-se, então, uso do desvio-padrão “populacional” da classe da carta avaliada, ao invés do amostral. Desta maneira o teste se baseia na distribuição normal, para “n” maior que 32, de acordo com a Equação 8.

$$z = \frac{\overline{\Delta X}}{\sigma_x / \sqrt{n}} \quad \text{Eq. (8)}$$

### 3.11.3 Análise de precisão

A avaliação da precisão é cumprida por meio da analogia, entre o Desvio Padrão (DP) das discrepâncias e o Erro Padrão (EP) especificado pelo PEC, confiado para a carta na classe que se deseja examinar. O teste de hipótese a ser estabelecido conforme Equações 9 e 10:

$$H_0 : S_{\Delta X}^2 = \sigma_X^2, \quad \text{Eq. (9)}$$

$$H_1 : S_{\Delta X}^2 > \sigma_X^2 \quad \text{Eq. (10)}$$

Em que  $\sigma_X$  é correspondente ao EP esperado para a coordenada X em discussão. Ponderando o valor da resultante como sendo EP, e admitindo ser o mesmo em cada uma de suas componentes horizontais, têm-se as Equações 11 e 12.

$$\sigma_X = \frac{EP}{\sqrt{2}} \quad \text{Eq. (11)}$$

$$\chi_X^2 = (n-1) \frac{S_{\Delta X}^2}{\sigma_X^2} \quad \text{Eq. (12)}$$

Quando a condição a abaixo (Equação 13) é atendida, a hipótese nula é aceita.

$$\chi_X^2 \leq \chi_{(n-1, \alpha)}^2 \quad \text{Eq. (13)}$$

Se a equação 13 não for acatada, isto é, se o valor do teste Qui-Quadrado calculado for maior, que o valor da tabela, para n-1 graus de liberdade, num intervalo de confiança  $\alpha$ , recusa-se então, a hipótese nula de que a carta acata a precisão previamente estabelecida (CONTADOR; SENNE, 2016).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

Para aplicação da análise e com o objetivo de verificar os aspectos de qualidade e acurácia posicional da imagem *WorldView 2*, bem como, a verificação quanto ao atendimento aos padrões estabelecidos pela NTGIR, selecionou-se uma área de estudos que possui cerca de 606 ha (aproximadamente 6 km<sup>2</sup>), localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Maranhão (SEMARH, 2006), especificamente na Região Administrativa (RA-IV) de Brazlândia, Distrito Federal (DF), situada a cerca de 60 Km de Brasília, conforme Figura 5. O enquadramento geográfico da área de estudo está definido pelas coordenadas UTM, *Datum* horizontal SIRGAS 2000, *Datum* vertical Imbituba/SC.

Canto superior esquerdo: N = 8.277.207,036 m; E = 168.888,957 m

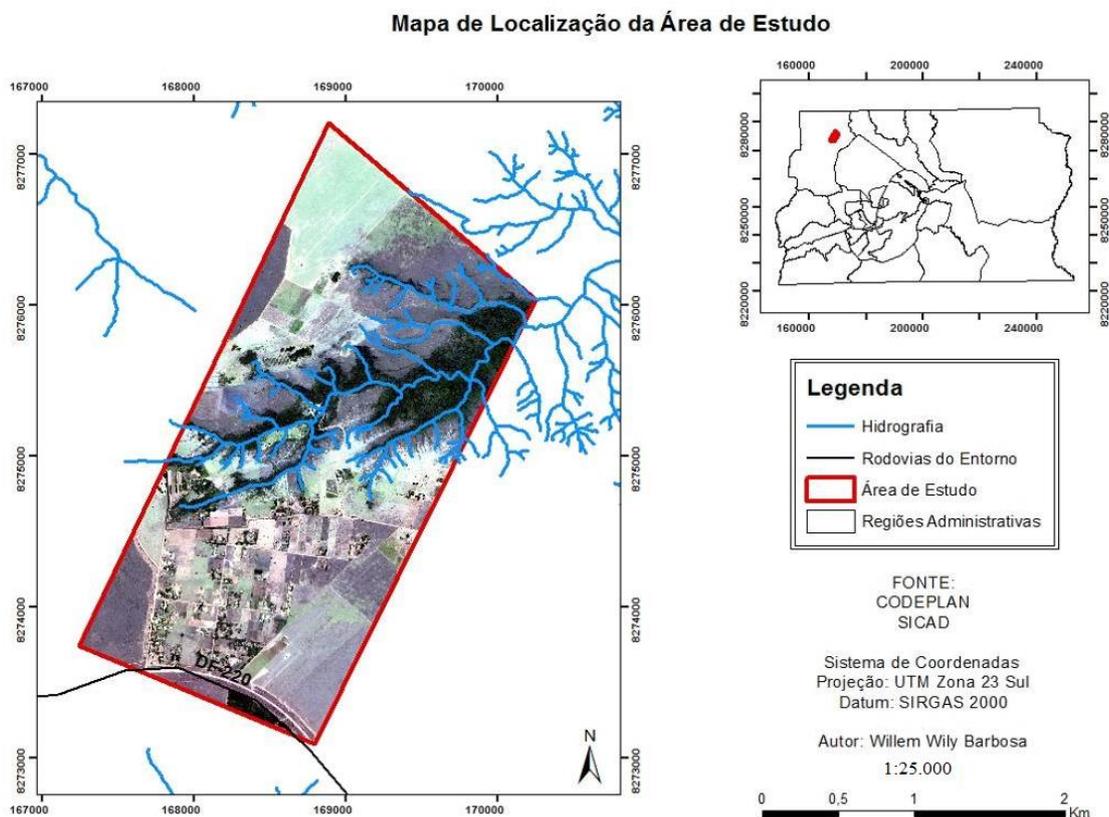
Canto superior direito: N = 8.276.038, 780 m; E = 170.253, 061 m

Canto inferior esquerdo: N = 8.273.738,303 m; E = 167.242,690 m

Canto inferior direito: N = 8.273.092,466 m; E = 168.793,721 m

A área de estudos foi selecionada em função de suas características topográficas (variação altimétrica de cerca de 280 m), tendo em vista que dispõe de áreas planas a suave onduladas e declivosas, pontos acessíveis e inacessíveis, que exercem grande influência no sentido de analisar quais as vantagens e limitações relativas ao uso de imagens orbitais de alta resolução espacial e seu enquadramento junto à 3ª NTGIR.

**Figura 5 -** Localização da área de estudos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 4.2 MATERIAL

Para o desenvolvimento desta pesquisa utilizou-se o material e ferramentas, descritos a seguir

1. Imagem orbital de alta resolução espacial do satélite *WorldView 2*, cedida pela empresa DIGIBASE, com as seguintes características: Imagem de alta resolução, adquirida em julho de 2014, com resolução radiométrica de 11 bits por pixel e resolução temporal de 1,1 dias. Ela contém as bandas multiespectrais com resolução espacial de 2 m e a banda pancromática com resolução espacial de 0,5 m. Lançado em 08/10/2009, o satélite *WorldView 2*, possui sensores com as bandas PAN, vermelho, verde, azul, infravermelho, azul costeiro, amarela, vermelho limítrofe e infravermelho-2 (DIGITALGLOBE, 2017). (Ver Figura 6).

**Figura 6** - Especificações Técnicas Básicas.

WorldView- 2 - Especificações técnicas básicas	
Informações de lançamento	Data: 08/10/2009 Veículo de lançamento: Delta II 7920 Local de lançamento: Base aérea de Vandenberg, Califórnia, EUA
Órbita	Altitude: 770Km Tipo: Heliossíncrona, 10:30am passagem descendente Período: 100 minutos
Bandas dos sensores	PAN, vermelho, verde, azul, infravermelho e 4 novas bandas
Resolução espacial	50 centímetros verdadeiros* (pancromático) 2 metros (multiespectral)
Resolução Radiométrica	11 bits por pixels
Comprimento da faixa	16,4Km no nadir
Capacidade de gravador de bordo	2199 Gigabites
Angulo máximo de visada	+/- 45° off-nadir = 1036Km
Capacidade de coleta	975 mil Km por dia
Resolução temporal	1,1 dias 30° off nadir
(revisita)	3,7 dias 20° off nadir
Acurácia posicional	Acurácia especificada de 5m CE90% no nadir excluindo efeitos de terreno

Fonte: Digital Globe (2015).

2. Dados referentes a curva de nível (escala 1:10.000) proveniente da base vetorial da Companhia Imobiliária de Brasília (Terracap) que contribuíram para aquisição do Modelo Digital de Elevação (MDE); 3. Dados *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), para geração de MDE em regiões do país que não possuam dados altimétricos disponíveis. Os dados do MDE foram incrementados conforme modelo de Soares Neto, 2015, tornando-o hidrologicamente consistente.

3. *Software* ENVI versão 5.0, utilizado para realização do fusionamento das bandas da imagem *WorldView 2*, através da função *Spectral Sharpenig*, como também o processo de ortorretificação da imagem, utilizando-se do modelo *Rational Polynomial Coefficient* (RPC).

4. *Software* ArcGIS versão 10.0, utilizado para as análises das feições digitalizadas, comparações de exatidão, análises de resolução espacial, amostragem, aquisição do MDE, geração do modelo de declividade do terreno e localização da área de estudos.

5. Par de receptores GNSS Topcon Hiper Lite + (L1/L2), para a coleta de pontos em campo, visando a ortorretificação da imagem;

6. *Software* PC-CDU versão 7.12, utilizado para descarregar os dados dos receptores GPS Topcon Hiper Lite + (L1/L2).

7. *Software* Topcon Tools versão 7.5.1, utilizado para o processamento dos dados obtidos em campo.

8. *Software* GeoPEC 3.5, para verificação do Padrão de Exatidão Cartográfica.

9. *Software* AutoCad, usado para comparação das áreas simuladas (campo e Ortoimagem).

10. GPS de navegação modelo Garmin 60 Cx, para navegação, orientação e localização dos pontos pré-definidos na amostragem e cálculo da distância da linha de base.

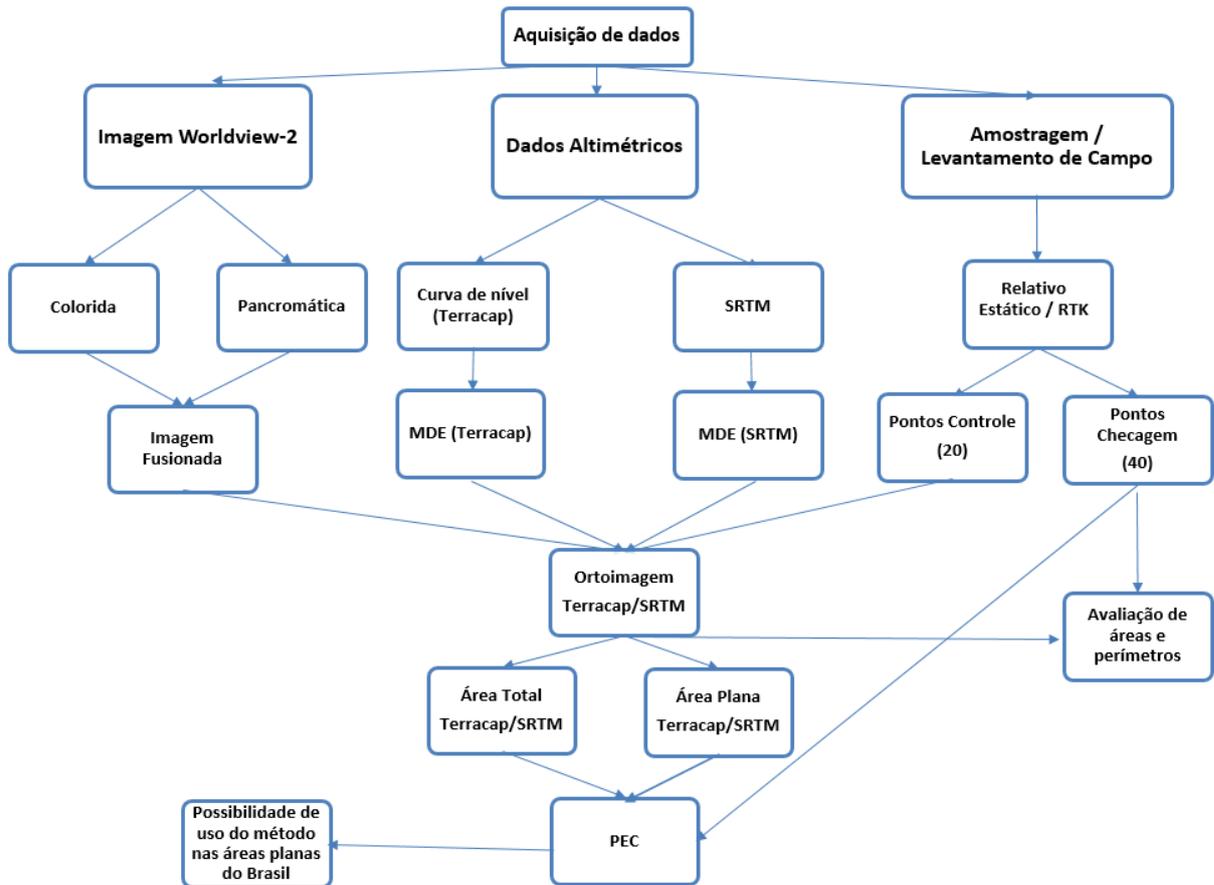
11. Coletora de dados com *software* TopSurv, para uso do método RTK.

#### 4.3 MÉTODOS

É importante o entendimento prévio de que o estudo desenvolvido pretende apresentar as potencialidades do uso de imagem de alta resolução como ferramenta para determinação de vértices (M, P, V) em conformidade as especificações da 3ª edição da NTGIR. Este processo foi submetido a avaliações de qualidade posicional e processos de ortorretificação com intuito de garantir a confiabilidade aos resultados.

Sendo assim, o método foi estruturado para atender as especificidades de cada fase do estudo, conforme indicado no fluxograma de procedimentos metodológicos (ver Figura 7).

**Figura 7** - Fluxograma das etapas metodológicas utilizadas na pesquisa.

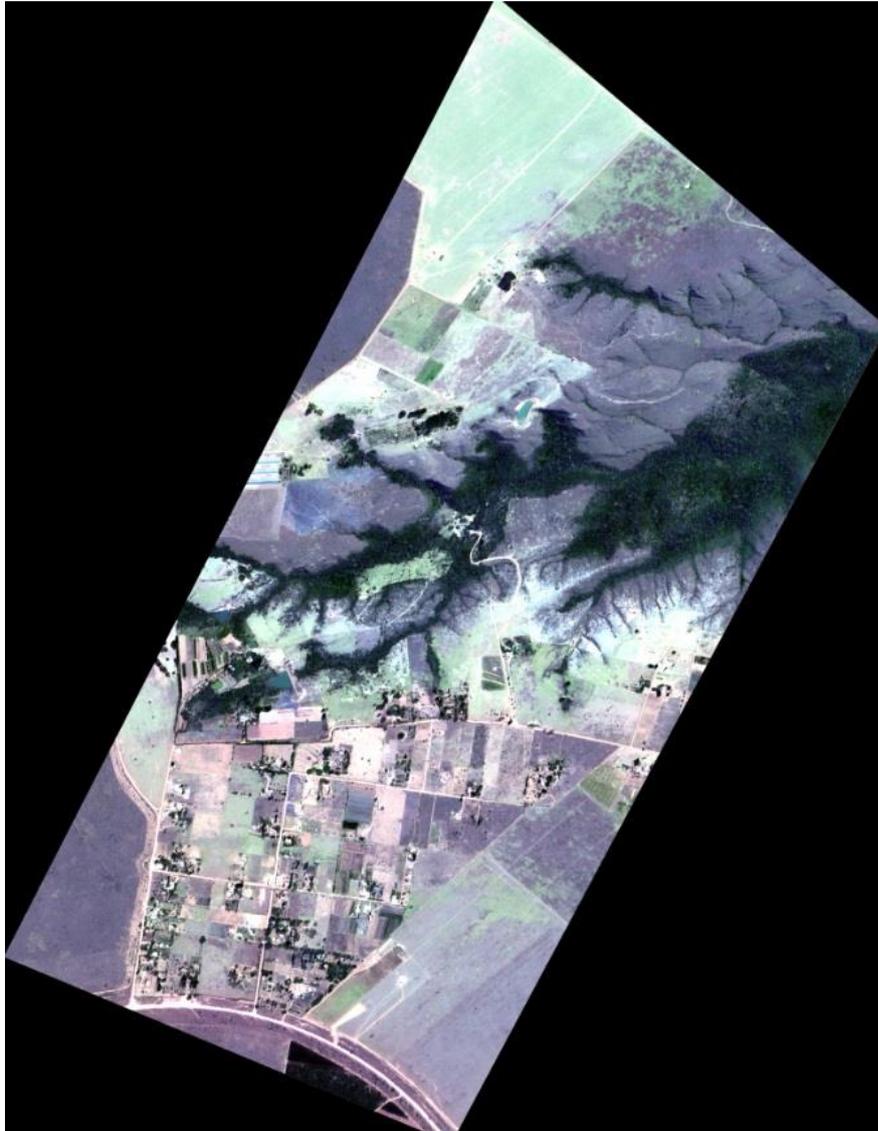


Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.3.1 Fusão da imagem

Foram testados os métodos de fusões disponíveis no *software ENVI 5.0* (*Gram Schmidt Spectral Sharpening PC Spectral Sharpening*). O critério para a escolha dos procedimentos de fusão executados foi a capacidade de atrelar as bandas multiespectrais e a ausência de problemas, como borramento, a fim de permitir uma melhor fotointerpretação. Por meio da análise visual e avaliação de estudos anteriores que utilizaram fusões em imagens *WorldView 2* (Padwick et al., 2010; Sousa, 2012; Meneghetti et al., 2013), foi escolhido o método *Pan-sharpening*, como o mais apropriado para a realização da fusão das bandas. Este método apresentou menos problemas com borramento e alterações envolvendo as cores dos alvos (ver Figura 8).

**Figura 8** - Imagem fusionada composição colorida (RGB).



Fonte: Elaborada pelo autor.

#### **4.3.2 Modelos Digitais de Elevação (MDE)**

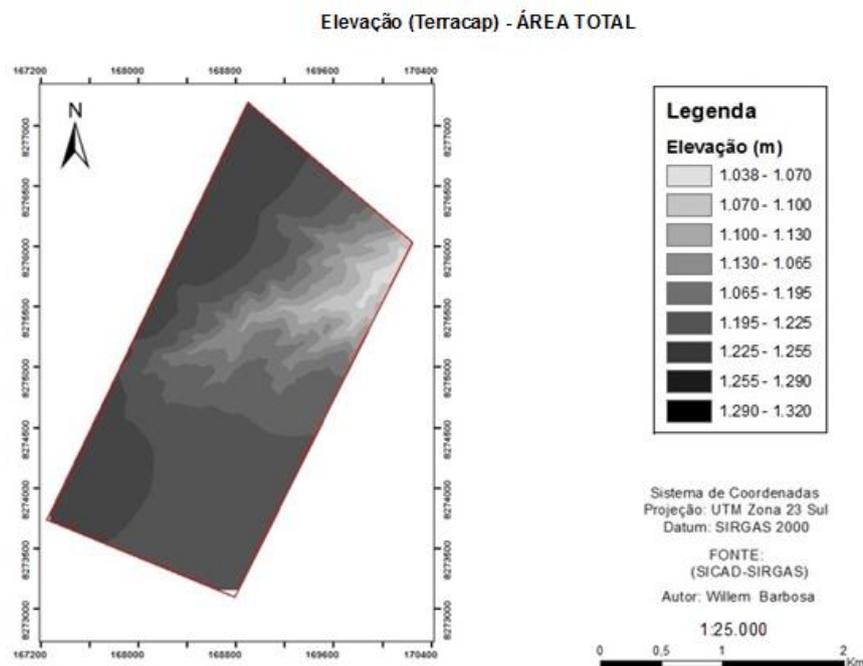
Utilizou-se dois diferentes dados de origem para obtenção dos MDE. Inicialmente foi usado o mapeamento do DF elaborado pela Terracap (curva de nível, escala 1:10.000) e posteriormente empregou-se os dados originados da missão SRTM (resolução espacial de 30 m).

#### 4.3.2.1 MDE proveniente dos dados da Terracap

Primeiramente trabalhou-se com o mapeamento da Terracap, que é composto por 244 folhas articuladas no SICAD, na escala 1:10.000, abrangendo todo o DF, referenciada ao *Datum* SIRGAS-2000. Esse mapeamento passou por um controle de qualidade em cada etapa do processo de elaboração dos produtos (cobertura aerofotogramétrica, aerotriangulação, apoio de campo, edição das ortoimagens e estruturação dos dados para ambiente SIG). Desta maneira utilizaram-se os dados altimétricos referentes às curvas de nível na escala de 1:10.000 (GDF, 2015).

O MDE da área de estudos foi gerado utilizando-se o programa computacional ArcGIS 10.0. Desta maneira gerou-se o modelo representado na Figura 9, utilizando a ferramenta *TopoRaster*, que indica um desnível de 282 metros na área de estudos.

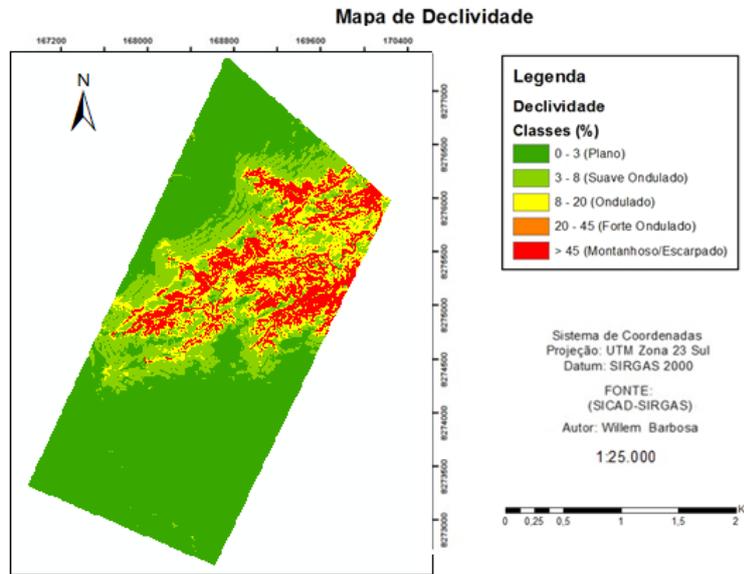
**Figura 9** - MDE gerado pelos dados da Terracap.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para geração do modelo de declividade da área de estudo, foi empregada a função *Slop*, do *software* ArcGis 10.0 (ver Figura 10).

Figura 10 - Modelo de declividade da área de estudos.

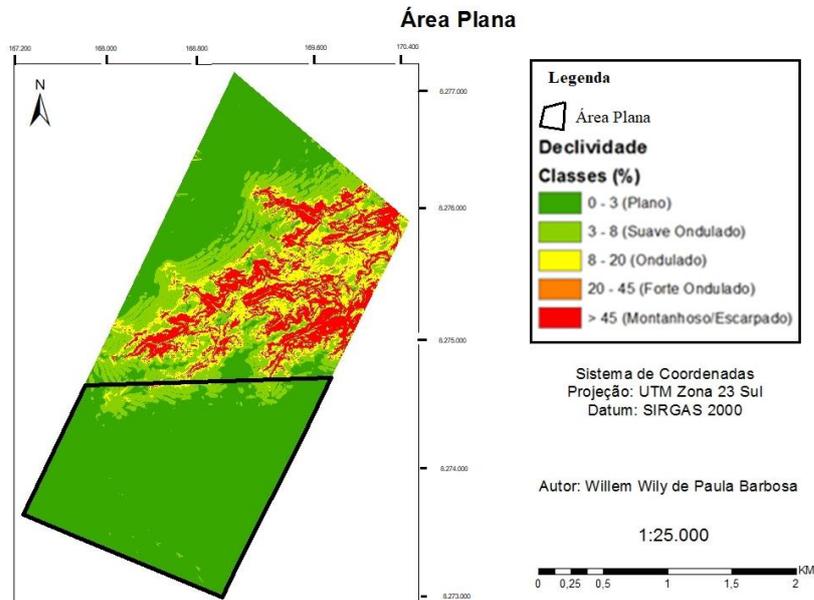


Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.3.2.2 Aplicação dos testes iniciais em áreas planas a suave onduladas

A partir da compartimentação das classes do modelo de declividade, realizou-se a vetorização deste dado, o que permitiu a delimitação de uma porção ao sul da imagem (ver Figura 11) que variasse de 0% a 8% (plano – suave ondulado), para aplicação dos testes nestas áreas.

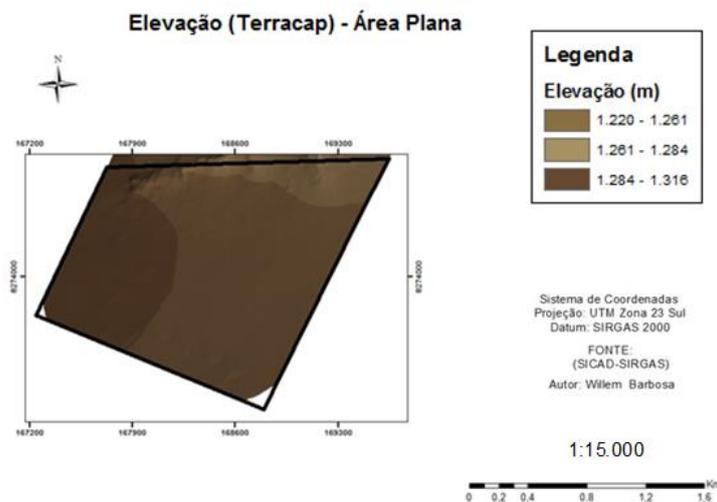
Figura 11 - Delimitação de área planas a suave onduladas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O método aplicado teve por finalidade verificar seu potencial de uso em regiões brasileiras, com características topográficas que variam de plana a suave ondulada. Com base nesta área, foi gerado um MDE contemplando apenas esta porção caracterizada como "plana a suave ondulada" da área de estudos, com base nos dados da Terracap (curvas de nível da base cartográfica 1:10.000), que possui um desnível de 96 m nesta área de estudos (ver Figura 12).

**Figura 12** - MDE gerado pelos dados da TERRACAP.



Fonte: Elaborado pelo autor.

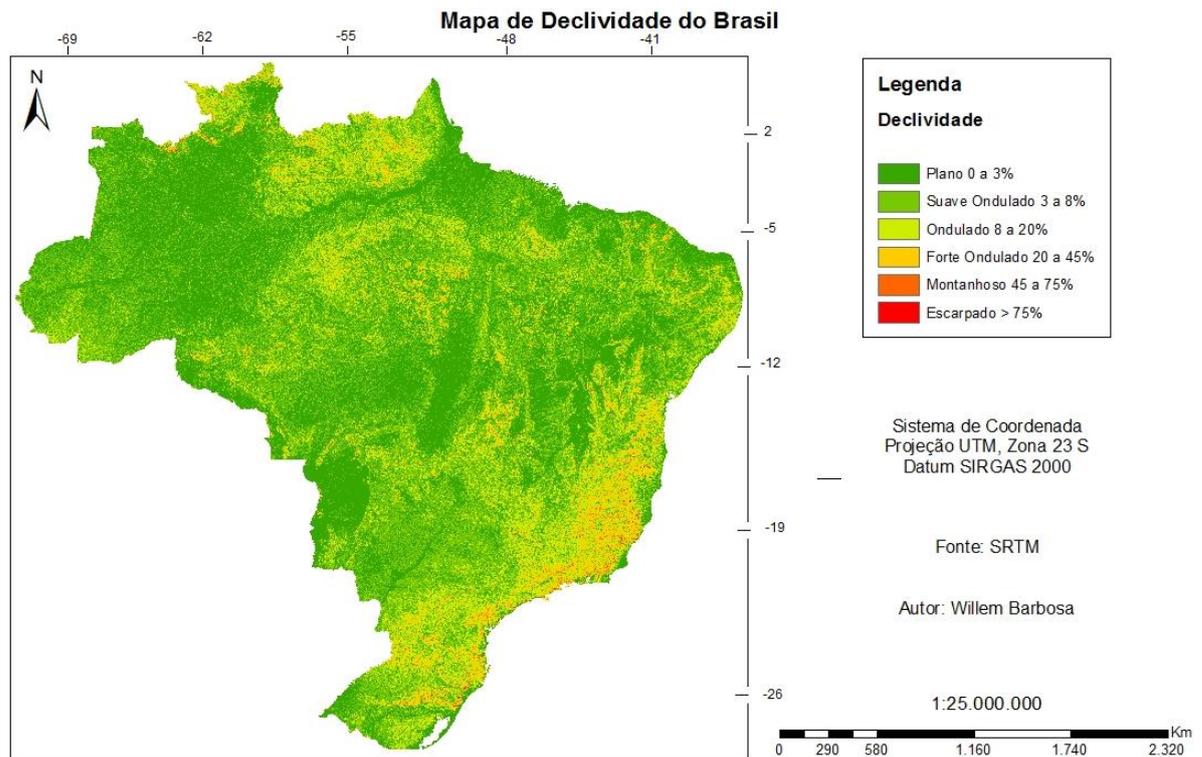
#### 4.3.2.3 MDE proveniente dos dados SRTM

Para a geração do MDE foram utilizados os dados altimétricos originados da missão SRTM desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA) e disponibilizados pelo *United States Geological Survey* (USGS). Os dados SRTM foram gerados por interferometria de radar. Neste processo, o sinal emitido é recebido por duas antenas separadas por uma distância fixa (60 m), permitindo assim o cálculo da elevação da superfície, com uma acurácia vertical absoluta de 16 metros (90% confiança). Os dados originais foram obtidos em formato raster, com resolução radiométrica de 16 bits, em formato HGT, projeção geográfica, elevações referenciadas para o geóide WGS84 EGM96 e *Datum* horizontal WGS84 (EMBRAPA, 2017).

Foram gerados 3 tipos de MDE para 3 aplicações distintas. A primeira aplicação foi referente à geração de modelo declividade (Figura 13) contemplando a área de todo país, de forma que permitisse analisar qual porção do território possui declividades que variam de 0° a

8°, pois em regiões com baixa amplitude topográfica não é necessário alto rigor altimétricos, tendo em vista que não haverá deslocamentos significativos devido aos efeitos de relevo (DEBIASE et al, 2011), o que viabiliza o uso de MDE originado de SRTM para os processos de ortorretificação.

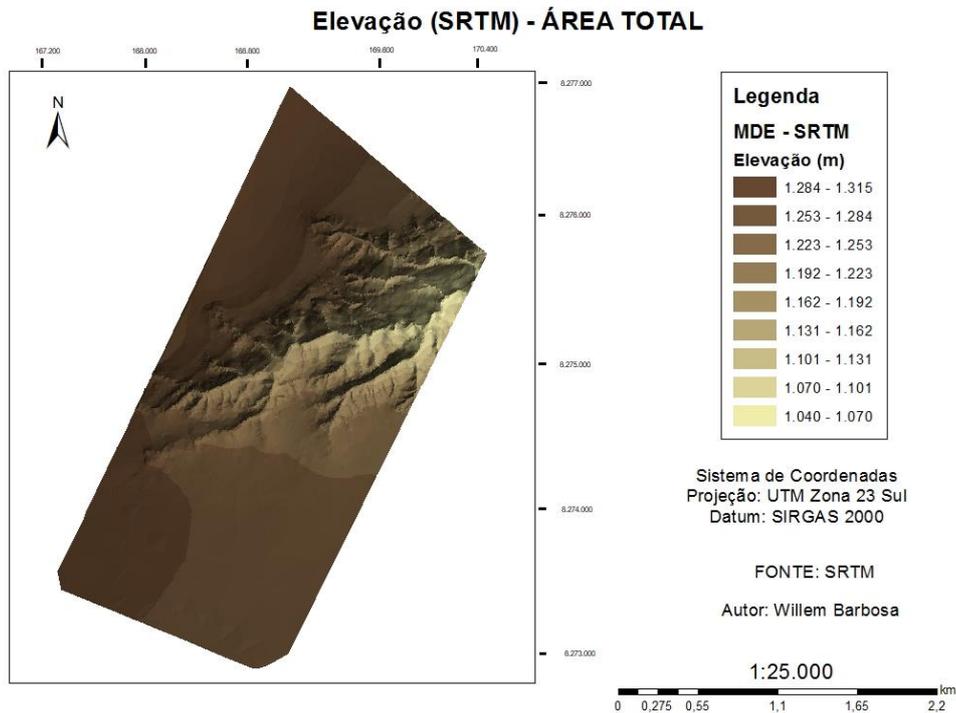
**Figura 13** - Declividade no Brasil.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A segunda aplicação se refere à geração do MDE, para toda a área de estudo, e posterior ortorretificação e análise comparativa do MDE SRTM e Terracap, identificando seus limites e potencialidades de uso em diferentes situações topográficas (ver Figura 14).

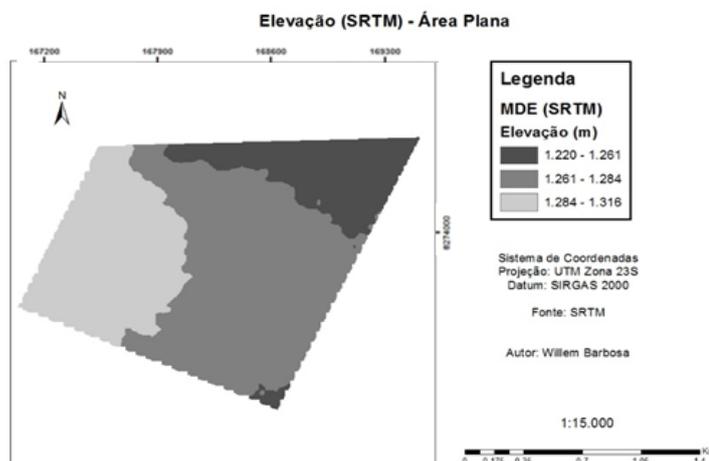
**Figura 14** - MDE SRTM área total.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A terceira aplicação foi referente à geração do MDE, apenas para área plana a suave ondulada (declividades de até 8%), para posterior ortorretificação e análise de sua possível aplicação e uso, verificando por meio do *software* GeoPEC 3.5 a acurácia posicional dos respectivos modelos e assim, avaliar a viabilidade deste método para regiões dotadas desta característica de declividade no país (ver Figura 15).

**Figura 15** - MDE SRTM, área plana a suave onduladas.

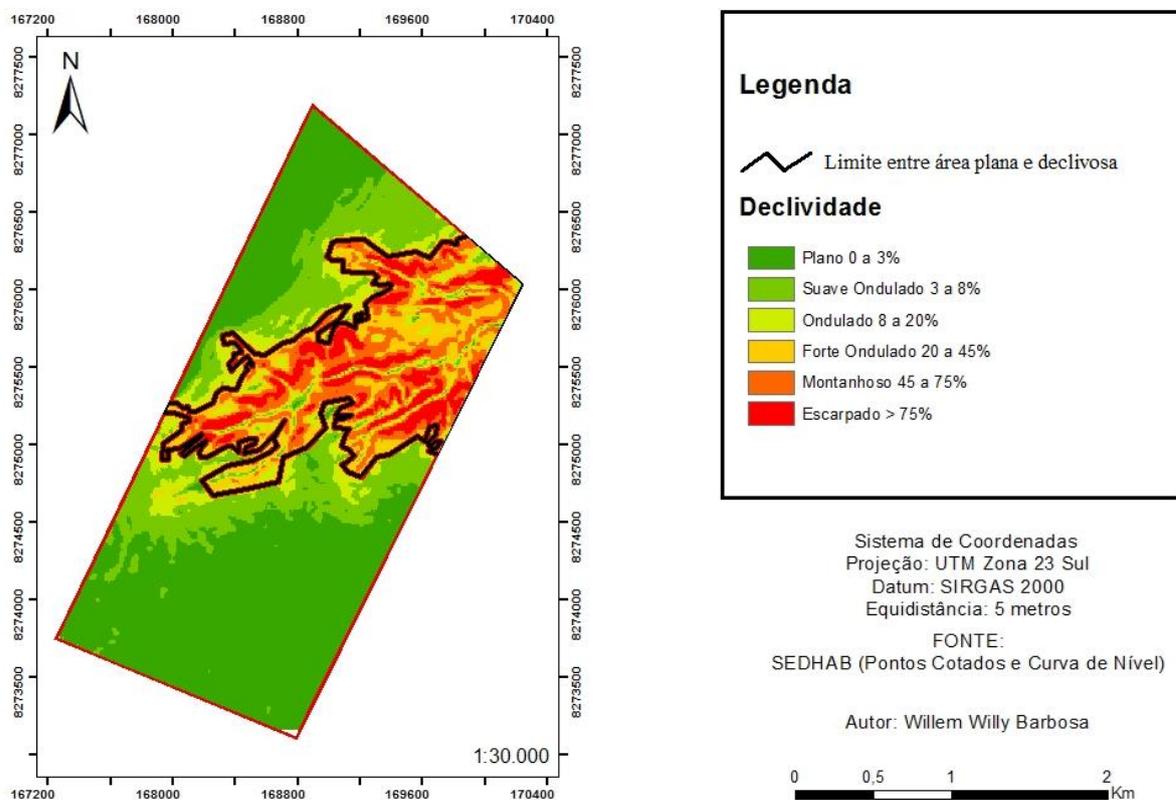


Fonte: Elaborado pelo autor.

### 4.3.3 Amostragem dos pontos de controle terrestres na área de estudos

Esta etapa foi dividida visando obter dois tipos de resultados que pudessem ser observados em ambientes com características opostas, no que se refere às condições topográficas. Com base no modelo de declividade a área de estudos foi dividida em duas partes, sendo que as áreas com declividade entre 0% e 8% foram consideradas planas a suave onduladas e as áreas com declividade entre 9% e 43% foram consideradas declivosas. (ver Figura 16).

**Figura 16** – Delimitação de área plana a suave onduladas e declivosa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O apoio terrestre tem a finalidade de obter uma amostragem significativa de pontos de campo levantados por métodos adequados que possibilitem uma precisão de posicionamento compatível com os objetivos a serem atingidos. Como o Decreto-lei 89.817-84 / ET-ADGV não define a quantidade de pontos a ser utilizada em uma avaliação da acurácia posicional, aprofundou-se a pesquisa referente às aplicações de controle de qualidade e ortorretificação em imagens *WorldView 2*.

Estudos de Colman et al. (2014) definiram 26 pontos, numa área de 796 Km<sup>2</sup>, oferecendo uma densidade de um ponto a cada cerca de 30 Km<sup>2</sup>.

Já Meneghetti et al. (2013) utilizou-se 42 pontos, numa área de 66 Km<sup>2</sup>, o que gera uma densidade de um ponto a cada 1,57 Km<sup>2</sup>, valor próximo ao aplicado por Bias (2003), ambos para análises em áreas urbanas.

Destaca-se que, para fins de interpretação, nesta pesquisa a nomenclatura GCP, deste ponto em diante, foi substituída por Pontos de Controle Terrestre (PCT).

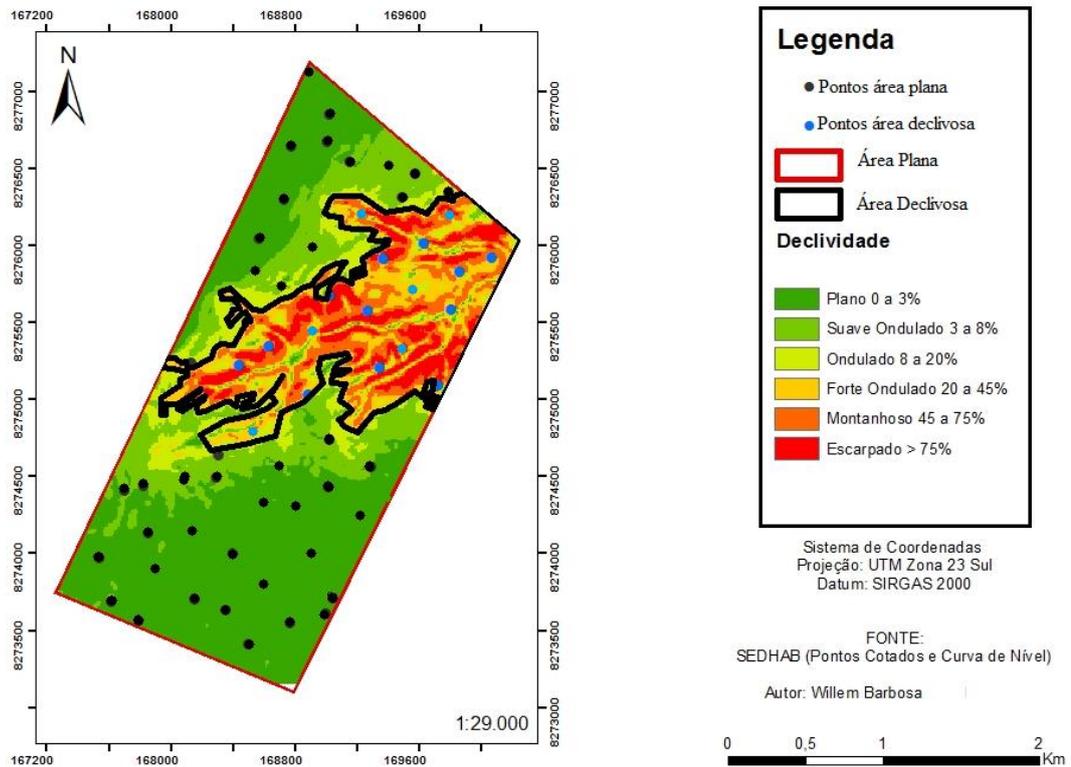
Tendo em vista o exposto utilizou-se nesta pesquisa 60 PCT, numa área de 606 ha o que gerou uma densidade de um ponto a cada cerca de 10 ha, equivalente a 0,1Km<sup>2</sup>, ou seja, com densidade bem maior que os dois exemplos citados. Esta quantidade de pontos foi determinada em função da viabilidade operacional para execução do levantamento dos pontos em tempo hábil.

O trabalho de campo realizou-se no período de agosto de 2015 a dezembro de 2016, em função da disponibilidade de equipamento e do autor do presente trabalho.

#### 4.3.3.1 Amostragem

Os preceitos estatísticos indicam que deve haver uma maior densidade de pontos nas áreas de maior variação altimétrica, contudo isso não pôde ser aplicado neste estudo, tendo em vista que tais áreas possuem grande dificuldade de acesso. Sendo assim a amostragem considerou 60 pontos (para os processos de ortorretificação e PEC), a distribuição destes pontos na área de estudos teve como base o mapa de delimitação de áreas planas a suave onduladas (70%) e declivosas (30%), seguindo esta proporcionalidade foram sorteados aleatoriamente 42 pontos na área planas a suave onduladas (acessível e foto identificável) e 18 pontos na área declivosa (difícil acesso e foto identificação), sendo que a Figura 17 apresenta a amostragem total (plano e declivosa). Destaca-se que os pontos obtidos pela amostragem aleatória foram deslocados para feições foto identificáveis próximas, para realização dos procedimentos de controle e checagem.

**Figura 17** - Amostragem aleatória total.



Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.3.4 Coleta e processamento de pontos de controle terrestres

A coleta dos PCT se deu tanto com o método RTK, em áreas planas a suave onduladas com poucos obstáculos, quanto com o método Relativo estático, para as demais áreas, utilizando-se um receptor Topcon Hiper Lite+.

No levantamento dos pontos terrestres (Figura 18), fez-se o uso de um vértice de apoio básico (tendo em vista não haver pontos com linha de base superior a 10 Km), tipo M, rastreado por cerca de 8 horas, processados e ajustados pelo método de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), certificado pelo IBGE (Figura 19), e 45 vértices do tipo P, ocupados e rastreados por 20 minutos, porém não materializados e 15 vértices do tipo P levantados no modo RTK, todos identificáveis na imagem orbital.

Figura 18 – Pontos foto identificáveis rastreados em campo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 19 - Relatório de processamento por PPP

IBGE		Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)				
<b>Sumário do Processamento do marco: log0707a_2DC0</b>						
Início:AAA/MM/DD HH:MM:SS.SS	2015/07/07 10:57:20,00					
Fim:AAA/MM/DD HH:MM:SS.SS	2015/07/07 19:12:55,00					
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO					
Observação processada:	CÓDIGO & FASE					
Modelo da Antena:	TPSHIPER_LITE NONE					
Órbitas dos satélites: <sup>1</sup>	FINAL					
Frequência processada:	L3					
Intervalo do processamento(s):	5,00					
Sigma <sup>2</sup> da pseudodistância(m):	2,000					
Sigma da portadora(m):	0,015					
Altura da Antena <sup>2</sup> (m):	1,397					
Ângulo de Elevação(graus):	10,000					
Resíduos da pseudodistância(m):	1,12 GPS 1,91 GLONASS					
Resíduos da fase da portadora(cm):	0,70 GPS 0,77 GLONASS					
<b>Coordenadas SIRGAS</b>						
	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (E. a que deve ser usada) <sup>4</sup>	-15° 34' 06,4916"	-48° 04' 39,7489"	1.219,65	8276650,466	813439,958	-51
Na data do levantamento <sup>5</sup>	-15° 34' 06,4857"	-48° 04' 39,7506"	1.219,65	8276650,648	813439,910	-51
Sigma(95%) <sup>6</sup> (m)	0,002	0,003	0,006			
Modelo Geoidal	MAPGEO2015					
Ondulação Geoidal (m)	-12,73					
Altitude Ortométrica (m)	1.232,38					
<b>Precisão esperada para um levantamento estático (metros)</b>						
Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências			
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico		
Após 1 hora	0,450	1,000	0,030	0,050		
Após 2 horas	0,300	0,800	0,015	0,025		
Após 4 horas	0,200	0,500	0,006	0,015		
Após 6 horas	0,180	0,400	0,004	0,010		
<sup>1</sup> Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCAN). <sup>2</sup> O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão. <sup>3</sup> Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA). <sup>4</sup> A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4. <sup>5</sup> A data de levantamento considerada é a data de início da sessão. <sup>6</sup> Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada. Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contatar: <a href="mailto:ibge@ibge.gov.br">ibge@ibge.gov.br</a> ou pelo telefone 0800-7218181. Este relatório é uma reprodução do relatório de processamento do IBGE. Não é permitido a sua reprodução sem a autorização do IBGE.						

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os desvios associados à órbita e o ajustamento das linhas de base foram pós-processados através do *software* Topcon Tools 8.5.2, que possui a capacidade de armazenar e processar fases de batimento das portadoras L1/L2 e utiliza o processo dos mínimos quadrados, que procura encontrar o melhor ajuste para um conjunto de dados, minimizando a

soma dos quadrados das diferenças entre o estimado e o observado. Com relação a conversão das altitudes elipsoidais em ortométricas, foi considerado o valor da ondulação geoidal identificado no MapGeo-OnLine.

#### 4.3.5 Ortorretificação

O processo de ortorretificação consiste na reprojeção da cena no plano ortogonal das imagens orbitais utilizadas. Trata-se de uma etapa essencial para esta pesquisa, tendo em vista que as imagens brutas apresentam distorções significativas que impossibilitam o seu uso.

Ao avaliar trabalhos anteriores como Meneghetti (2013) e Souza (2012) foi verificado que, para a ortorretificação das imagens *WorldView 2*, podem ser utilizados tanto o modelo por *Rational Polynomial Coefficients* (RPC) quanto o modelo Rigoroso. Desta forma optou-se pelo RPC (Equação 14) que leva em consideração as diferentes distorções existentes na plataforma do sensor, da Terra e da própria projeção cartográfica. Como apresentado por Toutin et al (2001), trata-se de um método polinomial simples pertinente a soluções de problemas de interpolação, ajustamento fotogramétrico e também pode ser aplicado em modelagem de distorções. Estes polinômios relacionam um ponto da imagem ortorretificada, por meio de suas coordenadas geodésicas (latitude -  $\phi$ , longitude -  $\lambda$  e altitude -  $H$ ), com um ponto da imagem não ortorretificada, por meio de suas coordenadas de imagem (linha -  $L$  e coluna -  $C$ ).

$$(L, C)_{N2} = P^3(\phi, \lambda, H)_{N4}$$

$$L = \frac{a_0 + a_1 \cdot \phi + a_2 \cdot \lambda + a_3 \cdot H + \dots + a_{17} \cdot \phi^3 + a_{18} \cdot \lambda^3 + a_{19} \cdot H^3}{1 + c_1 \cdot \phi + c_2 \cdot \lambda + c_3 \cdot H + \dots + c_{17} \cdot \phi^3 + c_{18} \cdot \lambda^3 + c_{19} \cdot H^3}$$

$$C = \frac{b_0 + b_1 \cdot \phi + b_2 \cdot \lambda + b_3 \cdot H + \dots + b_{17} \cdot \phi^3 + b_{18} \cdot \lambda^3 + b_{19} \cdot H^3}{1 + c_1 \cdot \phi + c_2 \cdot \lambda + c_3 \cdot H + \dots + c_{17} \cdot \phi^3 + c_{18} \cdot \lambda^3 + c_{19} \cdot H^3}$$

Eq. (14)

Portanto a ortorretificação foi realizada no *software* ENVI e processada inicialmente com o *background* dos dados do MDE Terracap e posteriormente com os do MDE SRTM. Utilizaram-se em ambas as situações, os arquivos RPC (modelo de coeficientes polinomiais fornecidos na imagem bruta) e os PCT (rastreados em alvos foto identificáveis). Neste procedimento, ainda foram consideradas duas situações distintas, a ortorretificação de toda área de estudos, e apenas da área planas a suave onduladas delimitada ao sul da imagem. Exemplos de pontos foto identificáveis podem ser vistos na Figura 20.

**Figura 20** – Exemplos de pontos foto identificáveis na área de estudos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As ortoimagens foram avaliadas em referência aos critérios estabelecidos pelo PEC. A avaliação foi realizada por meio das análises de tendência e de precisão. Analisaram-se também as discrepâncias entre as coordenadas nas imagens ortorretificadas e as coordenadas de referência, bem como suas médias e desvios padrão, e também foram feitos o teste de tendência (*t Student*) e o teste de precisão (Qui-Quadrado).

#### 4.3.6 Qualidade posicional

O conjunto de valores preliminares para esses padrões é intitulado Padrão de Acurácia e Precisão para Produtos Cartográficos Digitais (PAP-PCD), e quando comparado ao PEC analógico (Decreto 89.817) a ET-ADGV cria uma classe mais restritiva com a tolerância de 0,28 mm (ver Tabela 3).

**Tabela 3** - Tolerâncias utilizadas para avaliação da acurácia posicional utilizando o Decreto-lei nº 89.817 aliado às especificações da DSG.

CLASSE	Planimetria		Altimetria	
	PEC	EP	PEC	EP
ET-CQDG				
A	0.28 mm	0.17 mm	1/4 da equidistância	1/6 da equidistância
B	0.5 mm	0.3 mm	1/2 da equidistância	1/3 da equidistância
C	0.8 mm	0.5 mm	3/5 da equidistância	2/5 da equidistância
D	1.0 mm	0.6 mm	3/4 da equidistância	1/2 da equidistância

Fonte: ET-ADGV (2016).

Na avaliação da qualidade dos dados obtidos na pesquisa foi utilizado o *software* GeoPEC 3.5, que considera os PAP-PCD definidos no trabalho da ET-PCDG propostos para os produtos digitais, complementando aqueles estabelecidos no Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984 e NBR 13.133.

Desta maneira esta avaliação é composta pela análise de tendência, para verificar a existência de erros sistemáticos e análise de precisão. Tais procedimentos são baseados nos testes de hipóteses, sobre a média e o desvio padrão amostral das discrepâncias obtidas entre as coordenadas dos pontos no terreno e na imagem, considerando o PEC previsto no Decreto Lei 89.817/84 e as orientações determinadas pela ET-PCDG.

#### 4.3.7 Comparação posicional entre os pontos da imagem processada, pontos coletados para checagem e especificações da 3ª NTGIR

Efetuuou-se uma verificação comparativa entre os pontos de controle da imagem orbital *WorldView 2*, com os PCT, com intuito verificar o atendimento as especificações aplicáveis às classes dos vértices que estão definidos na 3ª Edição da NTGIR (ver Tabela 4).

**Tabela 4** - Classificação de vértices quanto ao código, tipo e precisão.

TIPOS DE VÉRTICES	PRECISÃO
vértices situados em limites artificiais (M, P)	Até 0,5 m
vértices situados em limites naturais (V)	Até 3,0 m
vértices situados em limites inacessíveis (V)	Até 7,5 m

Fonte: MDA, (2013). Adaptado.

Foram analisadas as imagens ortorretificadas, com base no MDE proveniente dos dados da Terracap e aqueles produzidos com base no MDE originado dos dados SRTM. Os dois conjuntos foram submetidos à avaliação de acurácia posicional por meio do *software* GeoPEC 3.5, situação em que foi possível determinar suas respectivas precisões cartográficas, em função da quantidade e distribuição de pontos de controle, e assim iniciar as análises relativas a potencialidades e limitações da aplicação desta metodologia.

Conforme Razali & Wah (2011) o início do desenvolvimento de técnicas para detectar desvios da normal foi iniciado por Pearson (1895), que trabalhou nos coeficientes de assimetria e de curtose, por meio da análise da concentração das observações no centro e nas caudas da distribuição, considerando as seguintes situações:

$$C = (\mu/\sigma)^4 - 3$$

Onde C é a curtose;  $\mu$ , a média e  $\sigma$  o desvio-padrão.

Se  $C = 0$ , a distribuição é classificada como mesocúrtica, indicando que a concentração das observações ocorre de forma semelhante à distribuição normal.

Se  $C < 0$ , a distribuição é classificada como platicúrtica, apresenta uma curva de frequência achatada, com baixa concentração de valores na parte central.

Se  $C > 0$ , a distribuição é classificada como leptocúrtica apresenta uma curva de frequência concentrada ao redor da média, indicando que ocorre alta concentração de valores no centro e nas caudas, o que provoca pico.

Para efeitos práticos, geralmente, considera-se que a distribuição é normal se curtose, em módulo, for menor do que 0,5.

Ouro critério, adicional, para medir a normalidade é a assimetria, que geralmente também deve situar-se abaixo de 0,5, em módulo. E calcula-se pela fórmula abaixo, em que A é a assimetria e os demais símbolos, como acima.

$$A = (\mu/\sigma)^3$$

Verificou-se também, o comportamento de área e perímetros em regiões planas a suave onduladas e declivosas, sendo que as coordenadas dos vértices obtidos, por posicionamento de satélite foram comparadas com suas homólogas na ortoimagem. Tais análises foram efetivadas no *software* AutoCad.

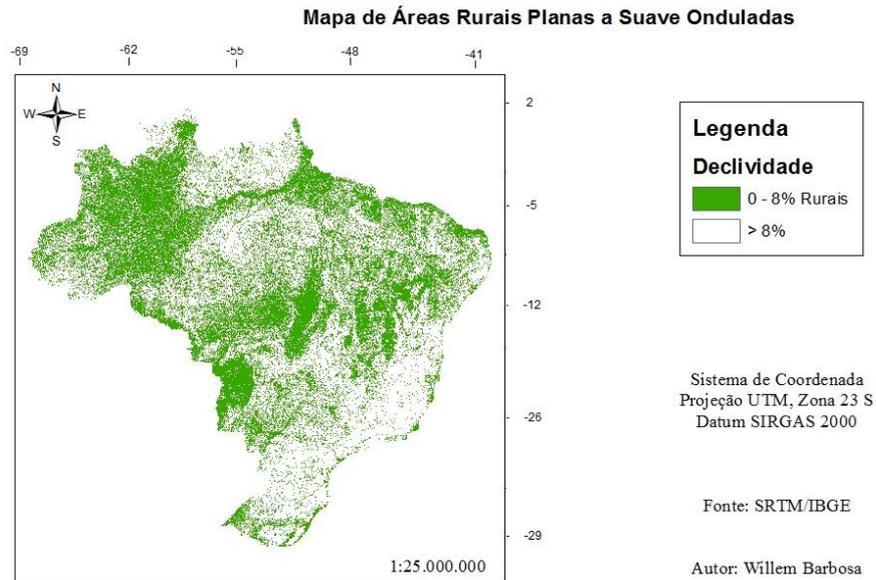
#### 4.3.8 Possibilidades de uso do método em áreas planas a suave onduladas no Brasil

Com intuito de avaliar qual a extensão do território brasileiro em que é possível a aplicação da metodologia, foi confeccionado um mapa, visando identificar as áreas planas a suave onduladas, rurais e não certificadas no Brasil. Assim sendo, inicialmente, foi delimitada as áreas planas a suave onduladas (0-8%), este procedimento foi realizado na *Extensão Spatial Analyst*, por meio das funções *Slope* e *Reclassify*. Utilizou-se para tal, o mosaico das imagens SRTM como informação básica e a classificação da declividade adotada como referência foi a do IBGE e EMBRAPA (Plano 0 a 3%, Suave-ondulado 3 a 8%, Ondulado 8 a 20%, Forte ondulado 20 a 45%, Montanhoso 45 a 75% e Escarpado > 75%) (EMBRAPA, 2017).

Posteriormente foi executada a delimitação de áreas rurais do território brasileiro, com uso dos dados IBGE, em seu portal de geociências, que apresenta o resultado do mapeamento dos tipos de cobertura e de uso da terra do Brasil, elaborado a partir da compatibilização com o Sistema de Classificação da Cobertura e Uso da Terra (SCUT). Este Sistema, em sua concepção, foi orientado pela Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE/AGRO), e também pela metodologia preconizada pelo *System of Environmental-Economic Accounting* (SEEA). O Produto foi confeccionado com o mapeamento vetorial executado na Grade Estatística (1 km x 1 km), na escala 1.000.000.

Como apresenta a Figura 21, com o uso da ferramenta *by mask*, foi possível obter o recorte das áreas planas a suave onduladas e rurais e posteriormente efetivou-se sua conversão em vetor, por meio da ferramenta *Raster to polygon*, para realização do cálculo de áreas.

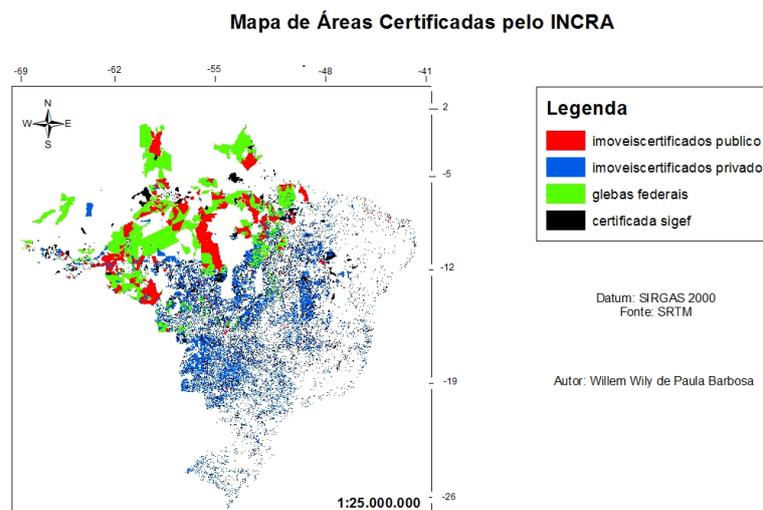
**Figura 21** – Áreas planas a suave onduladas e rurais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim foram delimitadas as áreas certificadas pelo INCRA (Figura 22), disponibilizadas em seu acervo fundiário nacional, no formato vetorial, no *Datum* SIRGAS 2000. Neste ambiente realizou-se a aquisição dos arquivos vetoriais de áreas certificados pelo INCRA (públicas, privadas, glebas federais e imóveis SIGEF) que foram subtraídas das áreas plana a suave onduladas e rurais para determinação da área (ha) passível da aplicação da metodologia proposta.

**Figura 22** – Áreas certificadas pelo INCRA.



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

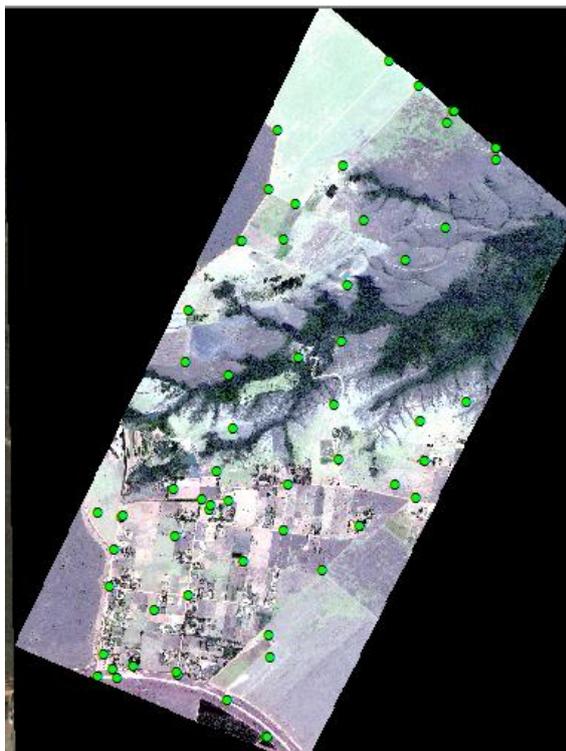
Neste capítulo são realizadas as análises e discussões dos resultados obtidos quanto à qualidade cartográfica das imagens *WorldView 2* no processo de ortorretificação e suas aplicações. Destaca-se que foram realizados testes apenas com georreferenciamento da imagem orbital, contudo por se tratar de área rural os resultados não atenderam as aspirações da pesquisa, sendo necessário de o processo de ortorretificação em áreas rurais.

### 5.1 COLETA DE DADOS EM CAMPO

O levantamento de campo foi de fundamental importância para avaliação da acurácia dos produtos gerados. Como ficou dito, os PCT e PC foram selecionados de forma que fossem foto identificáveis, ou seja, devem ser encontrados facilmente na imagem, para que não ocorram erros grosseiros na etapa de processamento dos dados. Esse trabalho ficou prejudicado em áreas com declividade acentuada, em função da dificuldade de acesso, bem como devido à ausência de feições foto identificáveis.

Coletaram-se 60 pontos em campo (ver sua localização na Figura 23), utilizando-se a técnica de posicionamento por satélite, por meio dos métodos relativo estático e RTK.

**Figura 23** - Pontos levantados em campo.



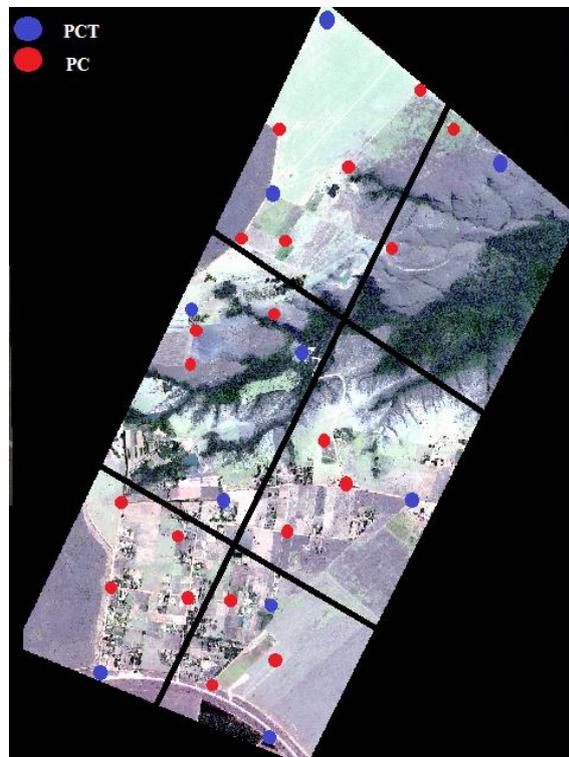
Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5.2 ORTORRETIFICAÇÃO DA IMAGEM *WORLDVIEW 2* ÁREA TOTAL DE ESTUDOS COM MDE TERRACAP E SRTM

Após diversos testes relacionados a densidade e distribuição do PCT e considerando a junção do Decreto-lei 89.817-84 / ET-ADGV e a norma americana *National Standard for Spatial Data Accuracy* (NSSDA) que indica que um mínimo de 20 pontos deve ser utilizado no processo de checagem, desta forma foram utilizados 30 dos 60 pontos coletados, sendo 10 PCT e 20 Pontos de Checagem (PC) para os procedimentos de teste de qualidade posicional. Quando a quantidade de PCT foi superior a 10, a classificação de PEC não foi alterada.

A situação apresentada na Figura 24 indica a distribuição dos pontos feita por amostragem direcionada por grade regular (cerca de 100 ha), de forma a considerar alvos nas margens e no centro da imagem, desde que fossem foto identificáveis (cercas, encontro de vértices, estradas).

**Figura 24** – Distribuição dos PCT e PC da área total.



Fonte: Elaborado pelo autor.

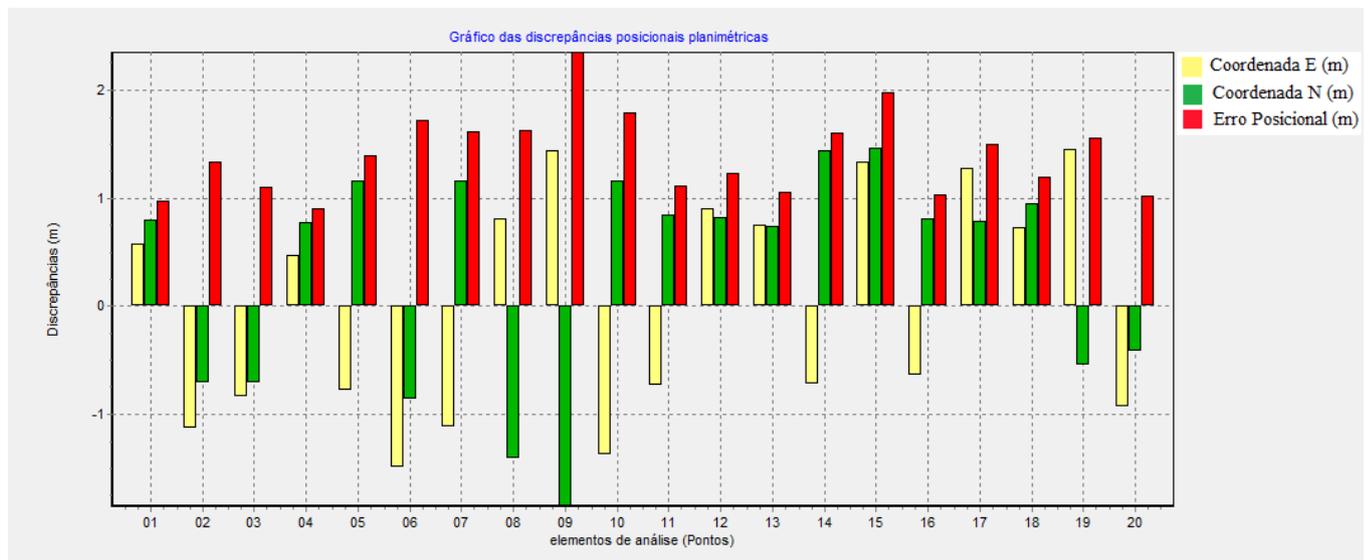
Através do GeoPEC calcularam-se as estatísticas amostrais (Tabela 5) para cada componente (E e N), tais como: erro mínimo, erro máximo, média, desvio padrão e erro médio quadrático, em função das discrepâncias entre coordenadas homólogas obtidas no terreno e nas ortoimagens (ver Figura 25 e Apêndice A).

**Tabela 5** – Estatísticas amostrais, área total.

10 PCT's	$\Delta E$	$\Delta N$
MÉDIA (m)	-0,0007	0,3184
DESVIO PADRÃO (m)	1,0524	1,0054
VARIÂNCIA (m)	1,108	1,011
EMQ (m)	1,0257	1,0304
MÁXIMO (m)	1,457	1,466
MÍNIMO (m)	-1,491	-1,855
CURTOSE (m)	1,2476	2,0395
ASSIMETRIA (m)	0,0559	-0,7211

Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 25** - Gráfico das discrepâncias



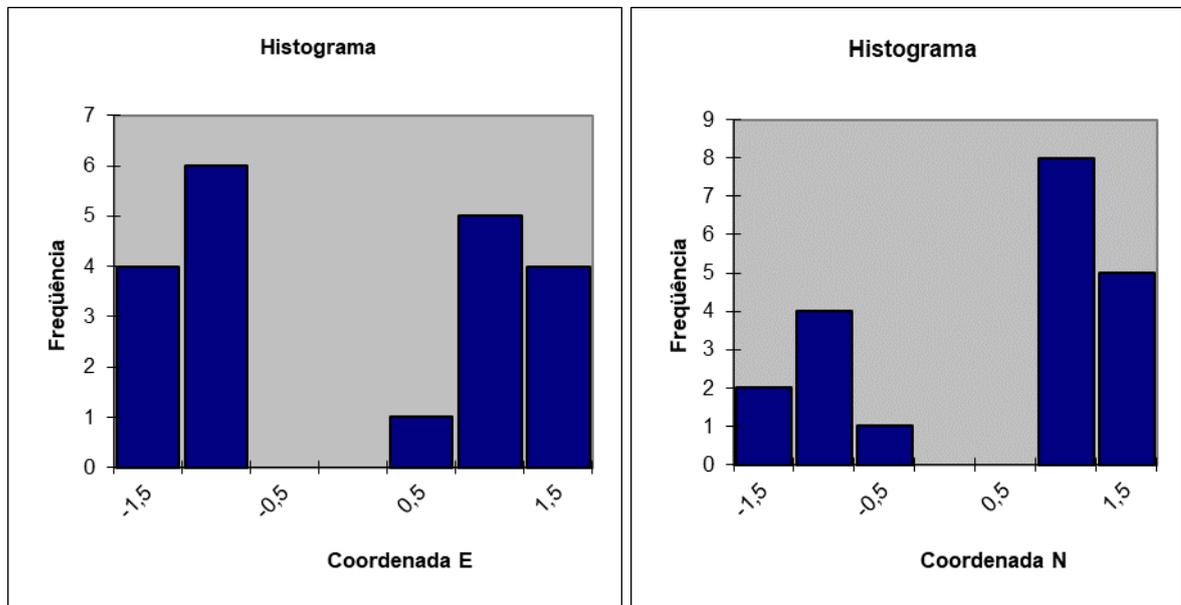
Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisou-se o histograma das discrepâncias calculados através do Excel (Figura 26), situação em que foi possível identificar valores de curtose positivos para N e E, o que indica a distribuição é classificada como leptocúrtica apresenta uma curva de frequência concentrada

ao redor da média, indicando que ocorre alta concentração de valores no centro e nas caldas, o que provoca pico. Isso mostra uma concentração de erro que, em módulo, varia em sua maior parte entre 1 m e 1,5 m em cada coordenada. Ainda que não se atinja o 0,5m preconizado pelo INCRA, esse valor, seria inferior a 0,28mm na escala 1:10.000, para a classe A e inferior a 0,5mm na escala de 1:5.000, para a classe B.

No histograma ocorrem dois picos, esta situação advém da mistura de dados com médias diferentes, pois o agrupamento de dados especial (proximidade) identificado foi relacionado a declividade (planas a suave onduladas e declivosas).

**Figura 26** – Histograma, 10 PCT área total.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados estatísticos da Tabela 5 serviram de base para verificar possível tendência em determinada componente planimétrica (E e N) e a classificação planimétrica das ortomagens geradas segundo o PEC Nacional. Para a análise de tendência foi utilizado um teste de hipótese estatístico empregando a distribuição *t* de *Student*, pois esta é particularmente válida para amostras pequenas, ou seja, menores que 32. Nesta etapa o tamanho da amostra foi de 20 pontos e o nível de confiança  $(1-\alpha)$  adotado foi de 90%.

Aplicando o teste *t* de *Student*, a comparação do valor de “*t*” amostral com o valor teórico indica a inexistência de uma tendência na direção E e N (ver Figura 27), tendo em vista que o valor de “*t*” calculado é menor que o tabelado.

**Figura 27** - Análise de tendências.**Teste t de Student**

Coord.	t tab	t calc	Resultado
di(E)	1,7291	-0,003	Sem tendência
di(N)	1,7291	1,4163	Sem tendência

Fonte: Elaborado pelo autor a partir da tela do GeoPec.

A análise da precisão foi feita comparando-se o desvio padrão das discrepâncias com o PEC esperado, para a classe que se deseja testar. Para esta análise utilizou-se a estimativa dada pela distribuição Qui-Quadrado, num intervalo de confiança de 90%. A Figura 28 apresenta a análise de precisão para a escala de 1:10.000 efetuada nas discrepâncias calculadas entre as coordenadas GPS e as da imagem ortorretificada.

**Figura 28** - Análise de precisão.**Padrões do Decreto-lei 89.817/ET-CQDG:**

Classe	ET-CQDG	PEC (mm)	EP (mm)	PEC (m)	EP (m)
	A	0,280	0,170	2,8	1,7
A	B	0,500	0,300	5	3
B	C	0,800	0,500	8	5
C	D	1,000	0,600	10	6

**Classificação do Decreto-lei 89.817 / ET-CQDG:**

Classe	ET-CQDG	%di(E) < PEC	%di(N) < PEC	%d(abs) < PEC	RMS < EP	Resultado
	A	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado
A	B	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado
B	C	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado
C	D	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado

Fonte: Elaborado pelo autor a partir da tela do GeoPec.

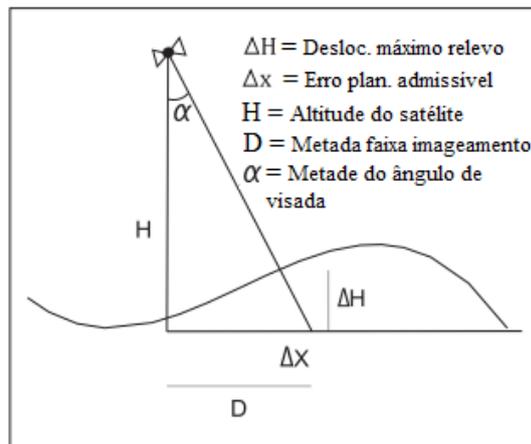
A comparação do valor Qui-Quadrado amostral com o valor teórico indica que a imagem atende aos pré-requisitos de precisão nas duas direções E e N, como no erro planimétrico total. Desta forma, os resultados mostram a possibilidade do mapeamento para a escala de 1:10.000, na classe A, para um nível de confiança de 90%.

Os produtos advindos de Levantamento por Método Indireto, originados de sensoriamento remoto representáveis em escala cartográfica 1:10.000 (escala cadastral), com PEC classe A, de 2,8 m, se enquadram nas restrições de vértices tipo V, tanto para limites naturais, quanto áreas inacessíveis para os quais permitem-se erros de 3 m e 7,5 m respectivamente.

Destaca-se que para esta situação utilizou-se tanto MDE Terracap, quanto o MDE SRTM, sendo que em ambos os casos foi alcançada a mesma classificação de PEC, tendo em vista que a qualidade posicional da ortoimagem em áreas com baixa variação altimétrica, não varia em função da origem dos dados do MDE, mas é função direta da distribuição e densidade de PCT, o que representa a possibilidade de uso desta metodologia em regiões do Brasil que possuem deficiência de dados cartográficos altimétricos mais acurados que o SRTM.

Como complemento, para analisar a influência das deformações relacionadas à elevação do terreno no processo de ortorretificação, foi utilizado o cálculo do deslocamento máximo devido ao relevo (DEBIASE et al., 2011). A Figura 29 indica a relação de cálculo de deslocamento de relevo e a Equação 15 a fórmula de cálculo.

**Figura 29** – Deslocamento máximo de uma imagem *Worldview 2*, devido ao relevo no plano de projeção.



Fonte: GDTA (1996).

$$\Delta H = \left( \frac{H}{D} \right) \Delta x$$

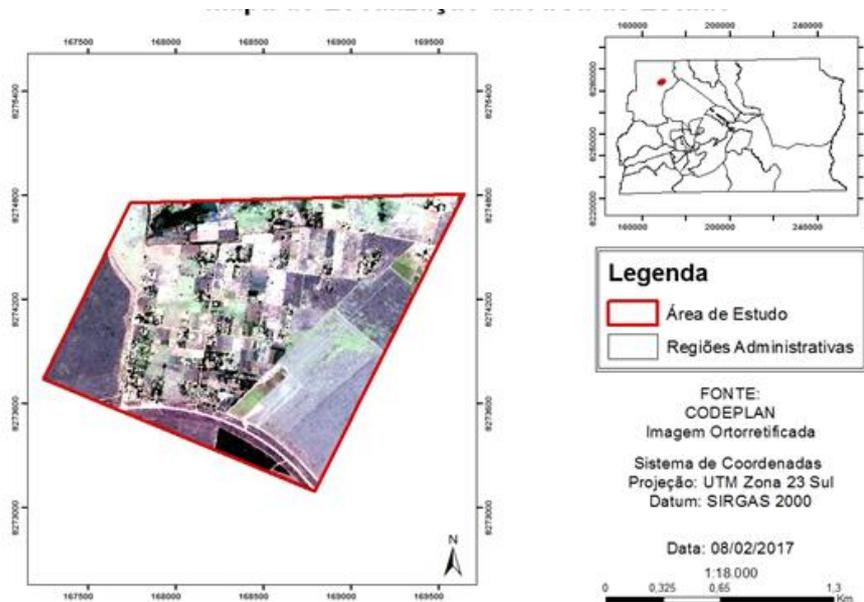
Eq. (15)

O erro planimétrico admissível, devido ao relevo para esta etapa do trabalho foi referenciado ao PEC das cartas classe A, na escala de 1:10.000, o que resultou num erro planimétrico admissível de 2,8 m. As demais informações são relacionadas ao sensor *Worldview 2*, sendo a altitude do satélite (770 km) e a metade da faixa de imageamento (8,2 km). Aplicando-se esses valores foi calculado o deslocamento máximo em função do relevo para as ortoimagens de 263 m, bem próximo do desnível total da área de estudos que é de 282 m (MDE Terracap) e 275 m (MDE SRMT).

### 5.3 ORTORRETICAÇÃO DA IMAGEM *WORD VIEW 2* NA ÁREA PLANAS A SUAVE ONDULADAS COM MDE TERRACAP E STRM

Para avaliar o comportamento do MDE (Terracap e SRTM) na região de menor declividade e maior disponibilidade de pontos foto identificáveis, foi testada a ortorretificação da imagem orbital na área plana a suave ondulada delimitada ao sul da área de estudos (ver Figura 30).

**Figura 30** – Mapa referente a área plana a suave ondulada utilizada neste procedimento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a intenção de se analisar a influência do número de PCT na qualidade do processo de ortorretificação da imagem *WorldView 2*, realizou-se uma amostragem (260 ha) direcionada por 4 grades regulares (cerca de 65 ha), foi utilizado progressivamente cinco, seis e sete PCT (ver Figuras 31, 32 e 33), de forma a considerar alvos nas margens e no centro da imagem, desde que fossem foto identificáveis (cercas e encontro de vértices). A validação das ortoimagens geradas, foi realizada com 20 PC, distribuídos conforme a Figura 34.

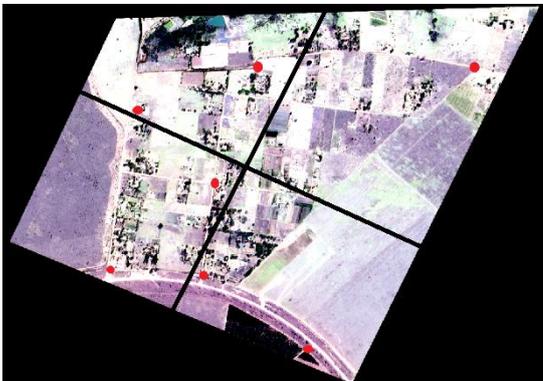
Ressalta-se que os testes de ortorretificação realizados com quantidades inferiores a cinco PCT apresentaram resultados insatisfatórios (PEC, classe D, 1:5.000) e quantidades superiores a sete PCT, não gerarão melhoria na classificação do PEC.

**Figura 31** - Distribuição dos 5 PCT.

.Fonte: Elaborado pelo autor.

**Figura 32** - Distribuição dos 6 PCT

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Figura 33** - Distribuição dos 7 PCT.

.Fonte: Elaborado pelo autor.

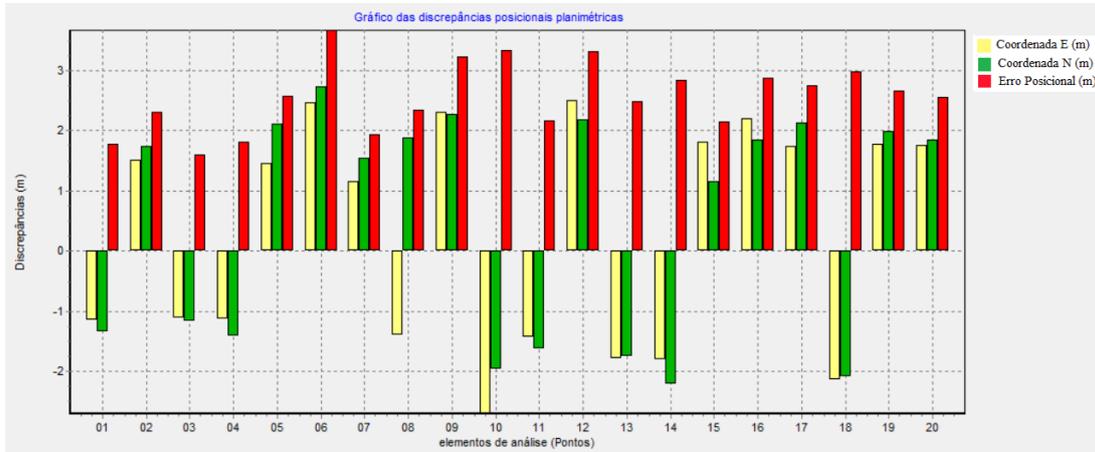
**Figura 34** - Distribuição dos 20 PC.

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.3.1 Estatísticas da ortoimagem na área plana a suave ondulado

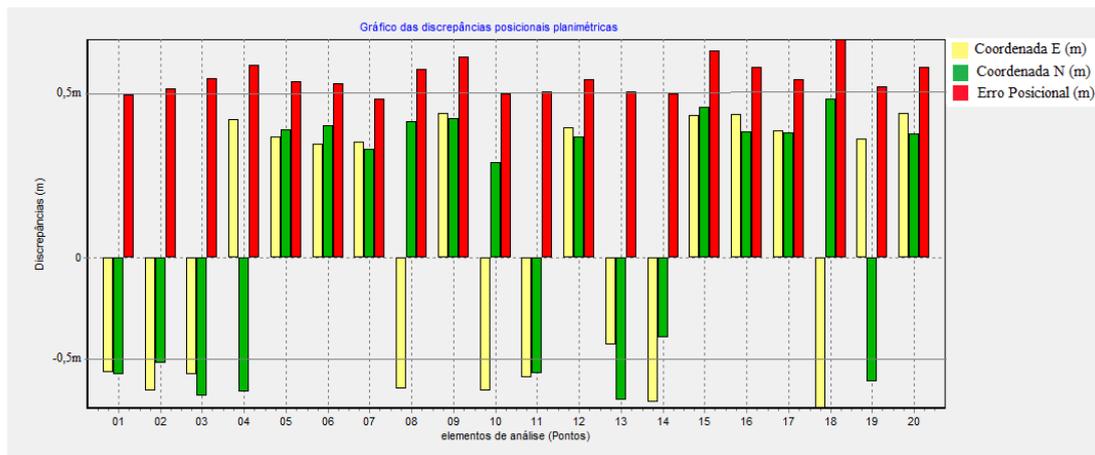
Os elementos estatísticos utilizados e analisados foram: EP; DP e EMQ. Inicialmente, examinou-se o gráfico das discrepâncias entre as coordenadas adquiridas em campo e aquelas obtidas nas respectivas ortoimagens (ver Figuras 35, 36 e 37). Nos apêndices B, C e D estão os relatórios de processamentos para 5, 6 e 7 PCT.

**Figura 35** - Gráfico de discrepâncias das coordenadas, utilizando-se 5 PCT.



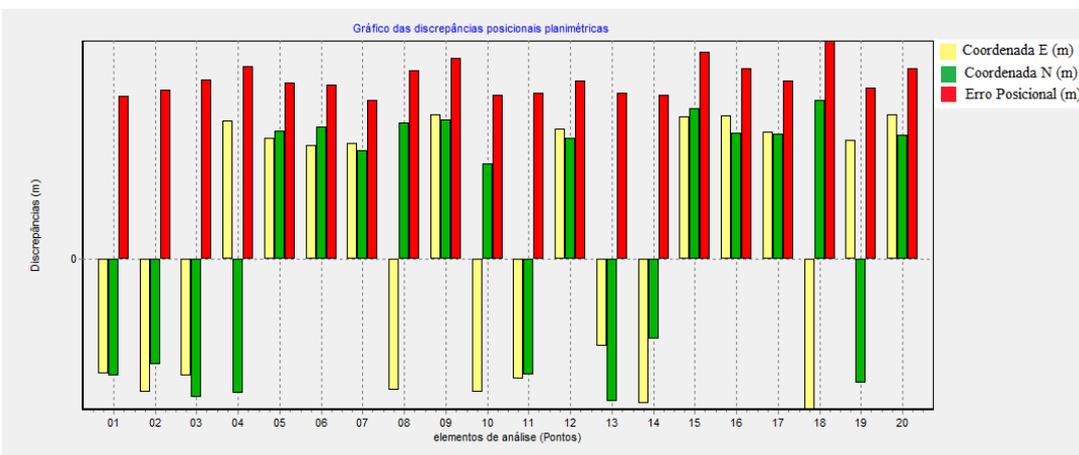
Fonte: Elaborado pelo autor.

**Figura 36** - Gráfico de discrepâncias das coordenadas, utilizando-se 6 PCT.



Fonte: Elaborado pelo autor.

**Figura 37** - Gráfico de discrepâncias das coordenadas, utilizando-se 7 PCT.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida foram avaliadas as estatísticas das coordenadas E e N para cada distribuição e quantidade de PCT (ver Tabela 6).

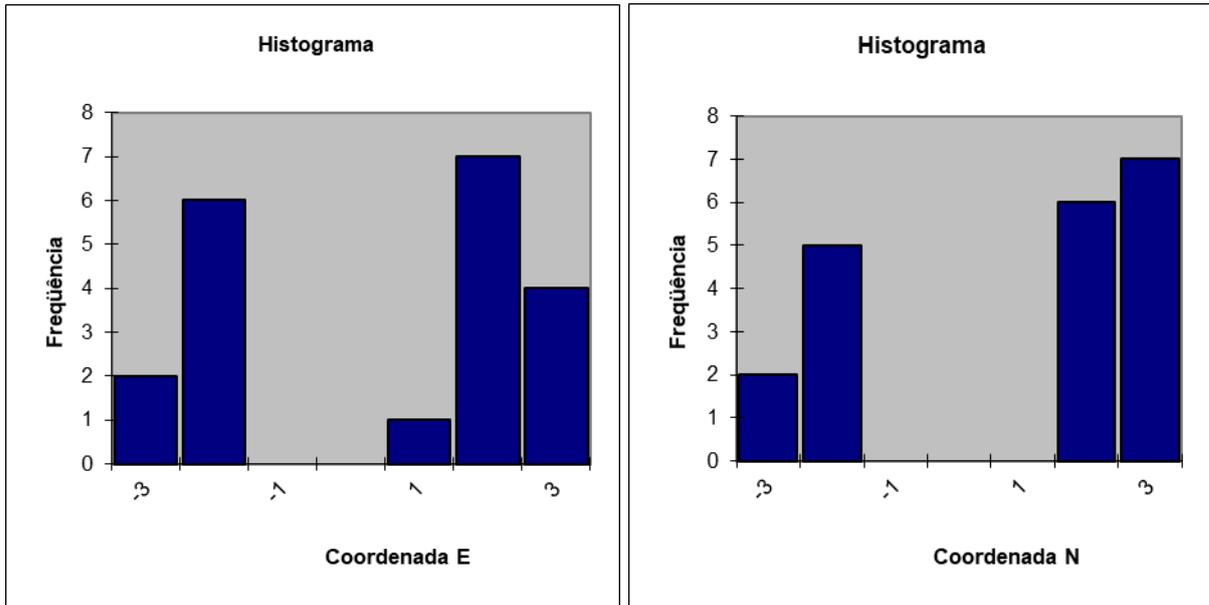
**Tabela 6** - Valores absolutos obtidos a partir da diferença entre as coordenadas e dados do EMQ de acordo com o número de PCT utilizados.

	5 PCT		6 PCT		7 PCT	
	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta E$	$\Delta N$
MÉDIA (m)	0,3034	0,4933	0,1573	0,0876	0,0648	0,1219
DESVIO PADRÃO (m)	1,8478	1,8674	0,9839	1,0161	0,5381	0,5149
VARIÂNCIA (m)	3,414	3,487	0,968	1,032	0,29	0,265
EMQ (m)	1,8264	1,8858	0,9718	0,9943	0,5285	0,5165
MÁXIMO (m)	2,508	2,724	1,169	1,185	0,593	0,649
MÍNIMO (m)	-2,702	-2,198	-1,027	-1,072	-0,614	-0,581
CURTOSE (m)	1,2067	1,1745	0,9707	0,9249	0,988	1,1202
ASSIMETRIA (m)	-0,2104	-0,3489	-0,1653	0,007	-0,1969	-0,3752

Fonte: Elaborado pelo autor.

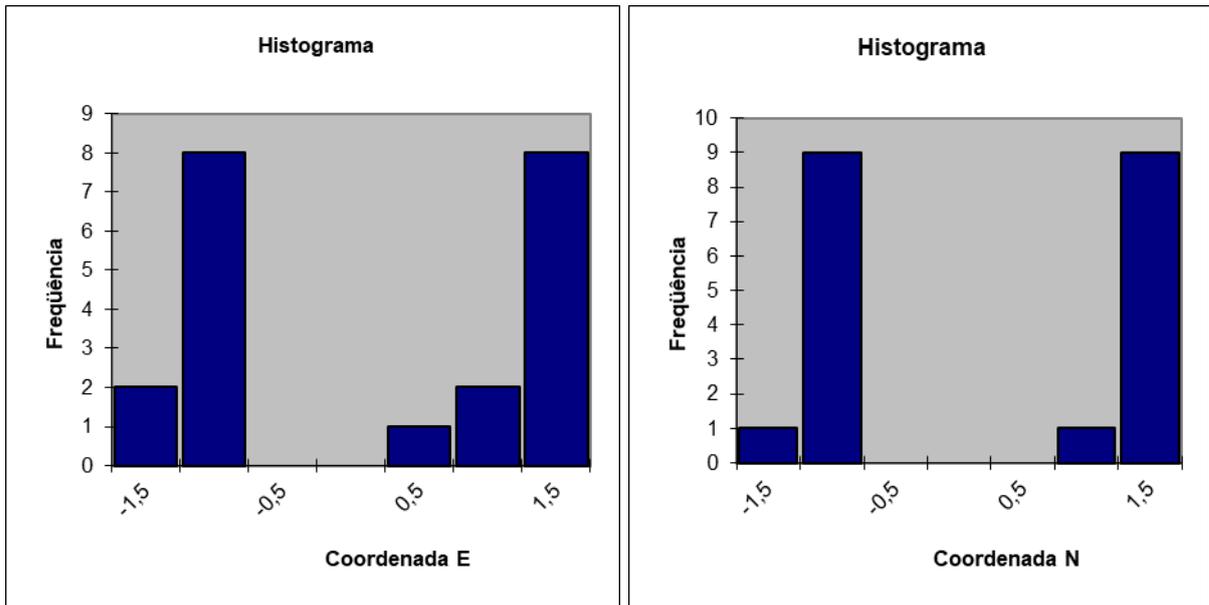
Ao se avaliar os histogramas das discrepâncias (Figura 38, 39 e 40) foi possível identificar para todas as situações (5 PCT, 6PCT e 7PCT) valores de curtose positivos para N e E, o que sugere que a distribuição é classificada como leptocúrtica e apresenta uma curva de frequência concentrada ao redor da média, indicando que ocorre alta concentração de valores no centro e nas caudas, o que provoca pico. Isso mostra uma concentração de erro que, em módulo, varia em sua maior parte entre 2 m e 3 m para 5 PCT, 1 m e 1,5 m para 6 PCT e 0,6 m e 0,8 m para 7 PCT. Nos histogramas ocorrem dois picos, esta situação acontece pela mistura de dados com médias diferentes, pois o agrupamento de dados especiais (proximidade) identificado foi referente a situação pontos (objetos), a variação de erro negativa ocorreu em feições que podem variar ao longo do tempo, como quinas de estradas vicinais. Já a variação positiva se deu nas feições que possuem menor variação ao longo, como cercas, sendo que estes pontos de checagem foram os que se localizaram mais próximos aos pontos de controle utilizados para o processo de ortorretificação.

**Figura 38** - Histograma 5 PCT, área plana a suave ondulada.



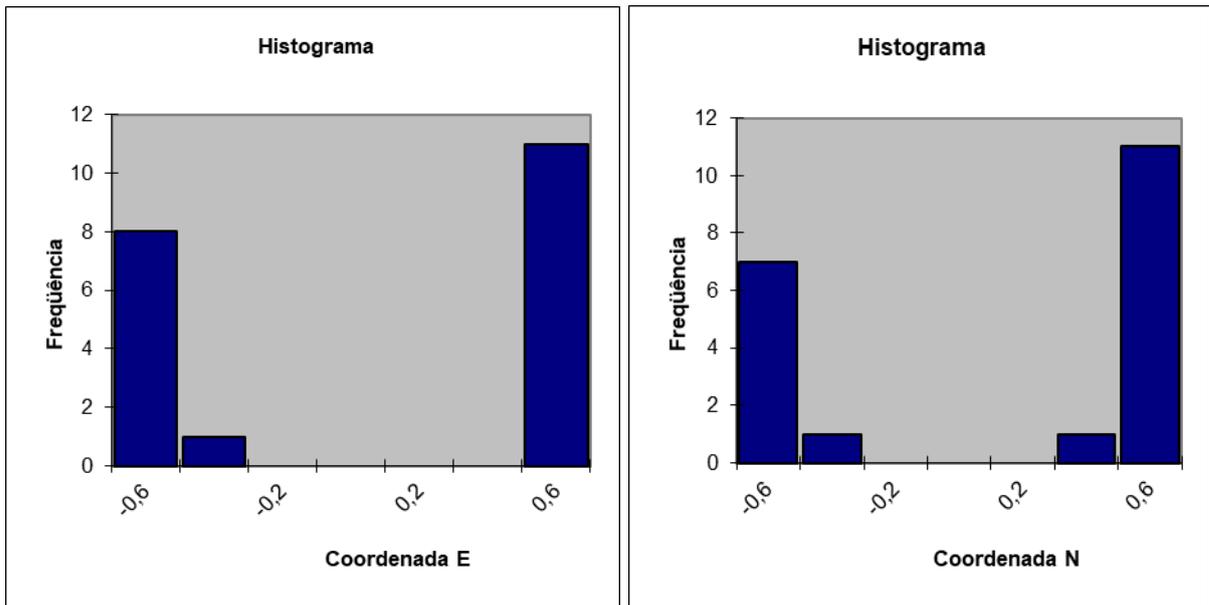
Fonte: Elaborado pelo autor.

**Figura 39** - Histograma 6 PCT, área plana a suave ondulada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

**Figura 40** - Histograma 7 PCT, área plana a suave ondulada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Vale a ressalva que nos resultados com 7 PCT o desvio padrão foi estatisticamente igual 0,5 m e quando se utilizou 8 PCT ou mais, este valor não diminuiu.

Dos dados obtidos e apresentados na Tabela 6, é possível observar uma redução gradual do DP conforme o aumento do número de PCT utilizados no processo de ortorretificação. Observou-se que os dados obtidos com 7 PCT obtiveram resultados semelhantes aos apresentados por Aguilar et al. (2013), com o mesmo tipo de imagem e área de estudos com características topográficas semelhantes, (DP de 0,468 m no E, 0,466 m no N), com a utilização de 12 PCT. Já Meneghetti et al. (2013), ao utilizarem o mesmo tipo de imagem obtiveram DP 0,413 m na componente planimétrica E e 0,640 m na componente N, valores similares a esta pesquisa que atingiu DP de 0,53 m em E e 0,51 m em N, utilizando 7 PCT. Vale ressaltar que ambos os casos, a área de estudos localiza-se em regiões litorâneas, de relevo suave, com baixa variação altimétrica, portanto, condição similar a região plano ondulada deste trabalho.

Os resultados estáticos da Tabela 6 ainda serviram de base para verificação de possível tendência em determinada componente planimétrica (E e N) e a classificação planimétrica das ortomagens geradas conforme o PEC Nacional. Para a análise de tendência foi utilizado um teste de hipótese estatístico empregando a distribuição t de Student, Nesta etapa o tamanho da amostra foi de 20 pontos e o nível de confiança  $(1-\alpha)$  adotado foi de 90%.

Aplicando o teste t de Student, a comparação do valor de “t” amostral com o valor teórico indica a inexistência de uma tendência na direção E e N (ver Figura 41, 42 e 43), tendo em vista que o valor de “t” calculado é menor que o tabelado.

**Figura 41** - Análise de tendências, utilizando 5 PCT.

**Teste t de Student**

Coord.	t tab	t calc	Resultado
di(E)	1,7291	0,7343	Sem tendência
di(N)	1,7291	1,1814	Sem tendência

Fonte: Elaborado pelo autor a partir da tela do GeoPec.

**Figura 42** - Análise de tendências, utilizando 6 PCT.

**Teste t de Student**

Coord.	t tab	t calc	Resultado
di(E)	1,7291	0,715	Sem tendência
di(N)	1,7291	0,3856	Sem tendência

Fonte: Elaborado pelo autor a partir da tela do GeoPec.

**Figura 43** - Análise de tendências, utilizando 7 PCT.

**Teste t de Student**

Coord.	t tab	t calc	Resultado
di(E)	1,7291	0,5386	Sem tendência
di(N)	1,7291	1,0588	Sem tendência

Fonte: Elaborado pelo autor a partir da tela do GeoPec.

A análise da precisão foi feita comparando-se o desvio padrão das discrepâncias com o erro padrão esperado, para a classe a ser testada. Sendo assim, a ortoimagem com 7 PCT (MDE Terracap e MDE SRTM) atende aos pré-requisitos de precisão planimétrica. Desta forma atenderá aos requisitos geométricos de um mapeamento na escala de 1:5.000, classe A, para um nível de confiança de 90%, o que indica um PEC de 1,4 m. Destaca-se que a origem do MDE não é o elemento mais relevante, mas sim a aplicação da correção geométrica, no caso as funções polinomiais racionais, que se mostraram suficientes em todos os casos. Os valores obtidos (1,4m) atendem a restrição do INCRA para vértices naturais (3,0 m) e inacessíveis (7,5 m).

Para o cálculo do deslocamento máximo em função do relevo, fez-se uso dos mesmos parâmetros do sensor *Worldview 2* citados na situação anterior, contudo o erro planimétrico máximo admissível foi referenciado a um PEC classe A, nas cartas de escala de 1:5.000,

resultando em 1,4 m. Aplicando esses valores à Equação 15, obteve-se uma amplitude topográfica de 131 m, valor superior ao desnível total da área plana a suave ondulada que é de 96 m.

Em seguida verificou-se a tolerância de cada ortoimagem e sua classificação, de acordo com sua acurácia e precisão (Figuras 44, 45 e 46).

**Figura 44** - Classificação do PEC, utilizando 5 PCT, na escala de 1:5.000.

**Padrões do Decreto 89.817/ET-CQDG:**

Classe	ET-CQDG	PEC (mm)	EP (mm)	PEC (m)	EP (m)
	A	0,280	0,170	1,4	0,85
A	B	0,500	0,300	2,5	1,5
B	C	0,800	0,500	4	2,5
C	D	1,000	0,600	5	3

**Classificação do Decreto 89.817 / ET-CQDG:**

Classe	ET-CQDG	%d(E) < PEC	%d(N) < PEC	%d(abs) < PEC	RMS < EP	Resultado
	A	25,000	15,000	0,000	Falhou	Reprovado
A	B	95,000	95,000	45,000	Falhou	Reprovado
B	C	100,000	100,000	100,000	Falhou	Reprovado
C	D	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado

Fonte: Elaborado pelo autor partir da tela do GeoPec.

**Figura 45** - Classificação do PEC, utilizando 6 PCT, na escala de 1:5.000.

**Padrões do Decreto 89.817/ET-CQDG:**

Classe	ET-CQDG	PEC (mm)	EP (mm)	PEC (m)	EP (m)
	A	0,280	0,170	1,4	0,85
A	B	0,500	0,300	2,5	1,5
B	C	0,800	0,500	4	2,5
C	D	1,000	0,600	5	3

**Classificação do Decreto 89.817 / ET-CQDG:**

Classe	ET-CQDG	%d(E) < PEC	%d(N) < PEC	%d(abs) < PEC	RMS < EP	Resultado
	A	100,000	100,000	55,000	Falhou	Reprovado
A	B	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado
B	C	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado
C	D	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado

Fonte: Elaborado pelo autor partir da tela do GeoPec.

**Figura 46** - Classificação do PEC, utilizando 7 PCT, na escala de 1:5.000.

**Padrões do Decreto 89.817/ET-CQDG:**

Classe	ET-CQDG	PEC (mm)	EP (mm)	PEC (m)	EP (m)
	A	0,280	0,170	1,4	0,85
A	B	0,500	0,300	2,5	1,5
B	C	0,800	0,500	4	2,5
C	D	1,000	0,600	5	3

**Classificação do Decreto 89.817 / ET-CQDG:**

Classe	ET-CQDG	%d(E) < PEC	%d(N) < PEC	%d(abs) < PEC	RMS < EP	Resultado
	A	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado
A	B	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado
B	C	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado
C	D	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado

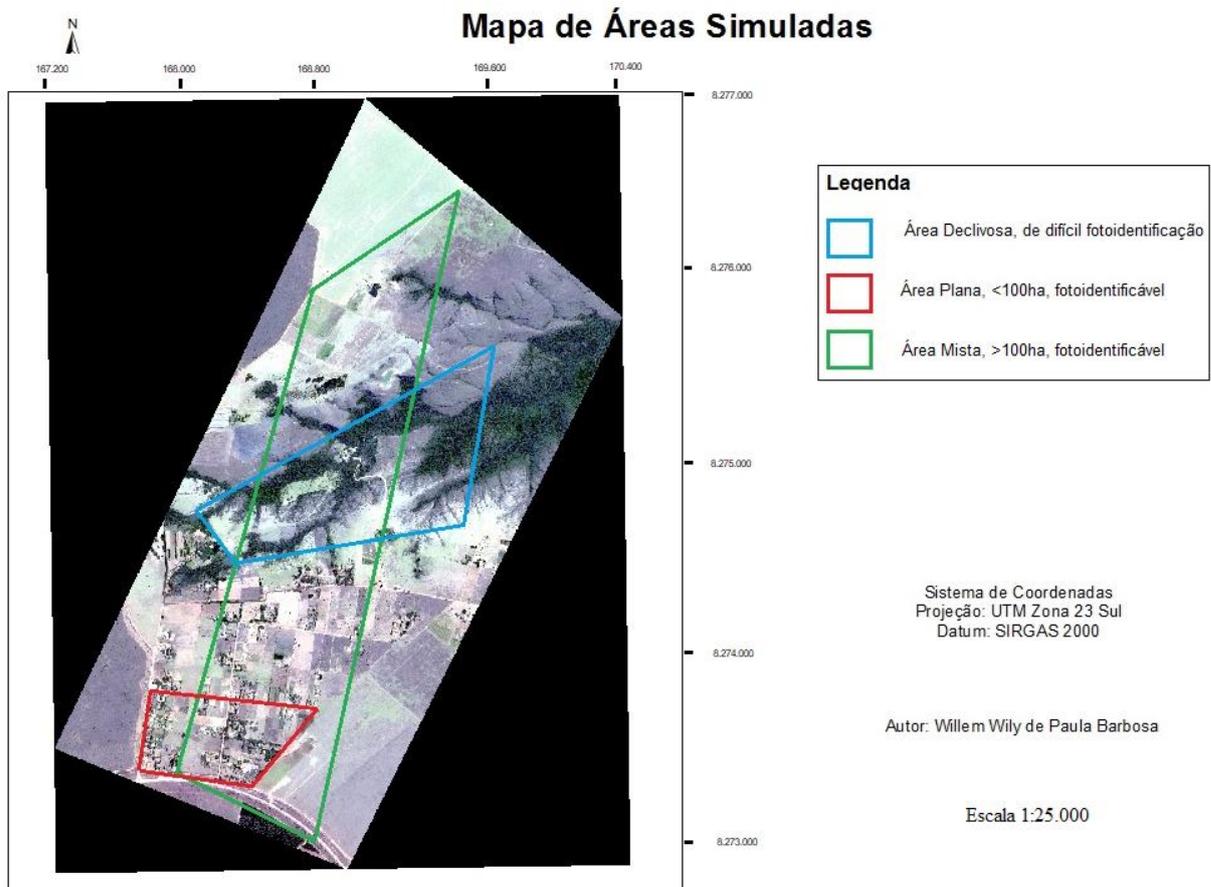
Fonte: Elaborado pelo autor a partir da tela do GeoPec.

O aumento na quantidade de PCT proporcionou uma significativa melhora na classificação do PEC, sendo que o produto obtido com 7 PCT, representável em escala cartográfica 1:5.000 (nível cadastral), com PEC classe A, de 1,4 m, é superior em relação as restrições de vértices tipo V (3 m e 7,5 m), tanto para limites naturais, quanto áreas inacessíveis. A escala obtida tem uso apropriado para gestão fundiária e cadastramento, como também pode gerar subsídios para projetos básicos de engenharia.

### 5.3.2 Análise de áreas e perímetros em diferentes situações de declividade

De forma a avaliar o desempenho da metodologia em diferentes situações de relevo, foram simulados três imóveis rurais, com características distintas, porém cada um delimitado por quatro vértices, sendo a primeira situação em área plana a suave ondulada menor que 100 ha, a segunda em área plana a suave ondulada maior que 100 ha, destacando que em ambas as situações foram usadas feições foto identificáveis (cercas e encontros de vértices) e por fim analisou-se uma área declivosa, situação em que os objetos são de difícil foto identificação, desta maneira os vértices foram identificados em árvores ou encontros de linha de drenagem, em função da ausência de outros alvos. (ver Figura 47).

**Figura 47** – Áreas simuladas em diferentes situações de declividade.



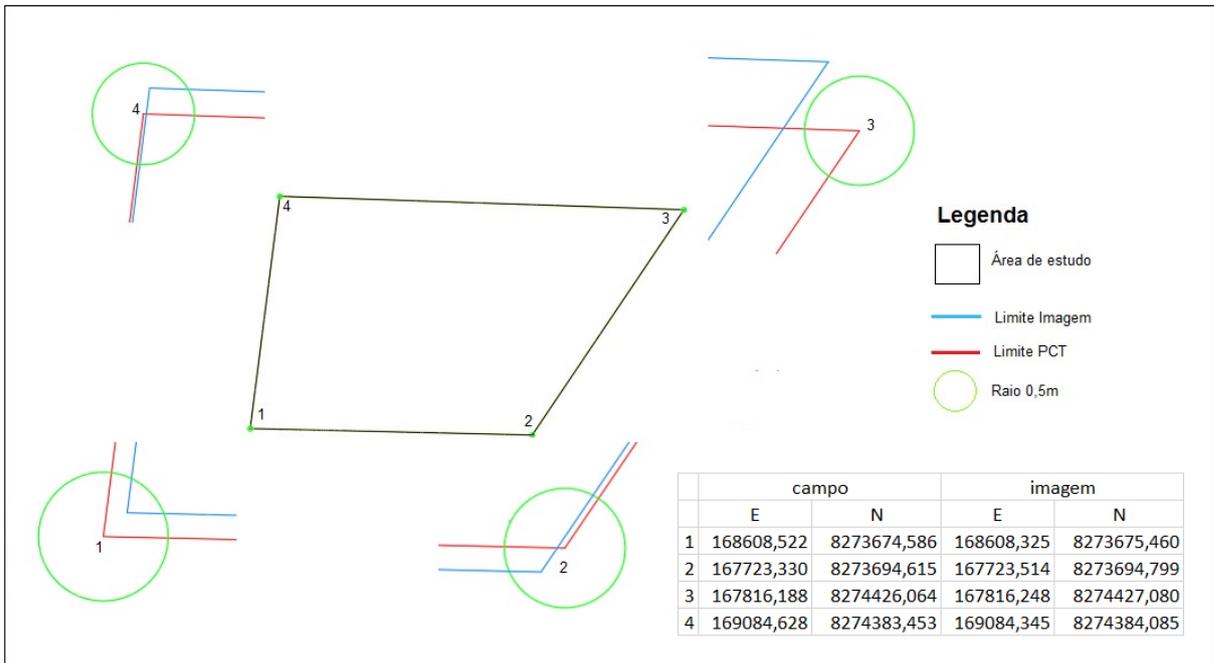
Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisou-se a relação de áreas e perímetros entre os PCT e seus homólogos na imagem *Worldview 2*, considerando os erros admitidos pela 3ª edição da NTGIR, que indicam 0,5 m para vértices situados em limites artificiais (M e P); 3,0 m para vértices situados em limites naturais (V) e 7,5 m para vértices situados em limites inacessíveis (V).

Nas três situações analisadas, a diferença entre áreas (campo e imagem) foi inferior a 2%, o que mostra grande potencial de uso da metodologia proposta, tendo em vista que, de acordo com o provimento 02/2010, em seu artigo três, parágrafo dois indica que será admitida a regularização de matrícula que contemple frações ideais ou glebas com área igual ou superior à fração mínima de parcelamento, ainda que, por ocasião do georreferenciamento, apure-se área diferente, desde que a diferença não seja superior a 5% (TJDFT, 2010).

Inicialmente procedeu-se análise na área plana a suave ondulada, menor que 100 ha e foto identificável, situação em que três dos quatros pontos identificados na imagem atenderam a acurácia determinada para vértices do tipo M e P (ver Figura 48).

**Figura 48** – Detalhe área plana a suave ondulada, menor 100 ha, foto identificável.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como destaca a Tabela 7, as áreas e perímetros relacionados a esta situação não apresentaram diferença superior a 2%.

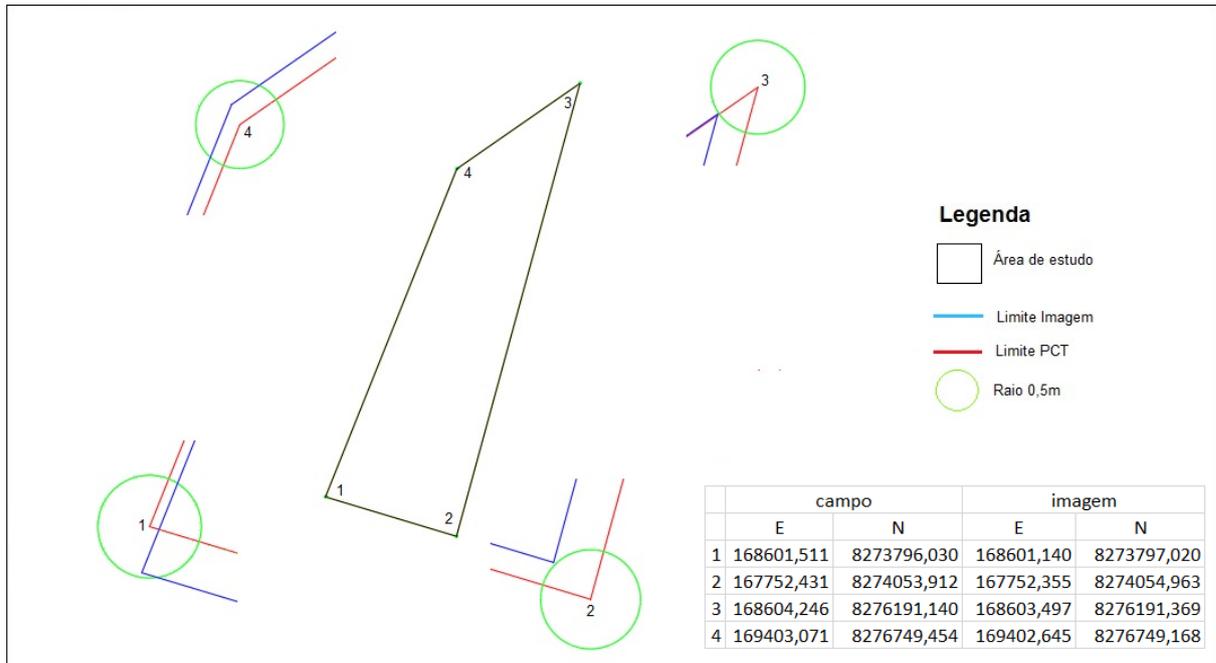
**Tabela 7** – Diferença de área e perímetros em relação a PCT e Imagem. Diferença de área e perímetros em relação a PCT e Imagem, área plana a suave ondulada, menor que 100 ha e foto identificável.

Área plana a suave ondulada, < 100 ha, foto identificável	
ÁREA	
PCT (ha)	78,439
Imagem (ha)	79,961
Diferença (ha)	1,5
Diferença (%)	1,9
PERÍMETRO	
PCT (m)	3.745,808
Imagem (m)	3.849,777
Diferença (m)	103,9
Diferença (%)	2,7

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida avaliou-se a área mista, maior que 100 ha e foto identificável, situação em que dois dos quatro pontos identificados na imagem (ver Figura 49) atenderam ao erro estabelecido para vértices do tipo M e P, contudo os outros dois pontos se aproximaram bastante deste erro (raio de 0,5 m).

**Figura 49** – Detalhe área Mista, maior 100 ha, foto identificável.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Destaca-se que, as áreas e perímetros relacionados a esta situação não apresentaram diferença superior a 2% (ver Tabela 8).

**Tabela 8** – Diferença de área e perímetros em relação a PCT e Imagem, área plana a suave ondulada, maior que 100 ha e fotoidentificável.

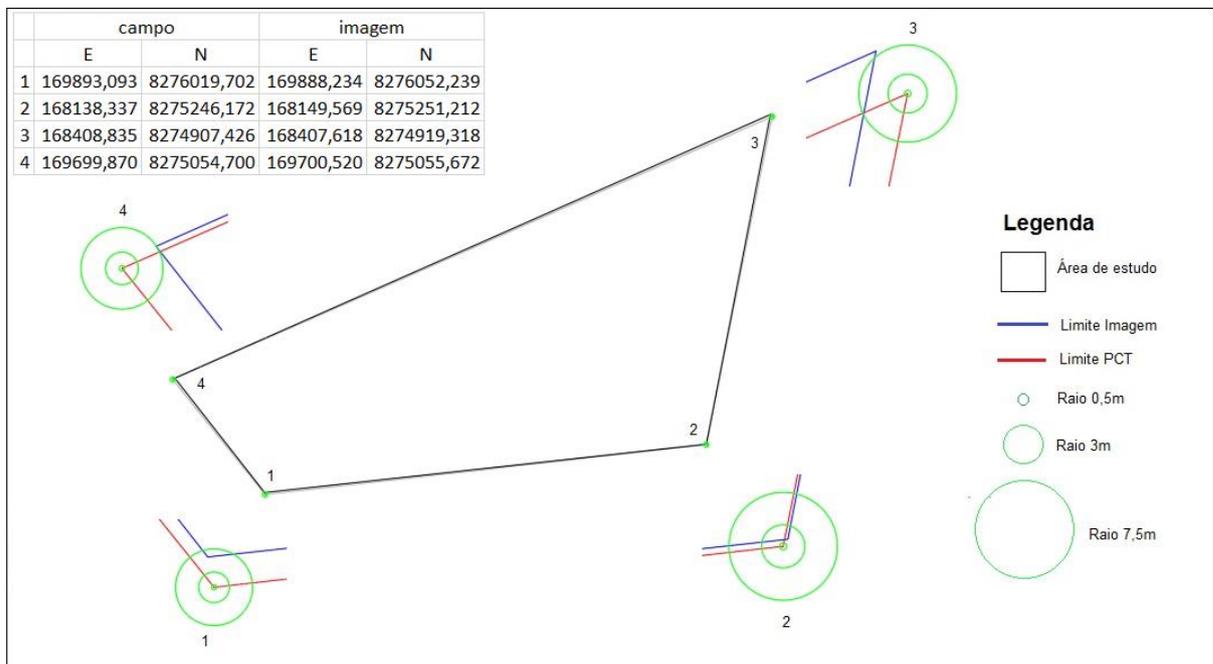
Área planas a suave onduladas, > 100 ha, fotoidentificável	
ÁREA	
PCT (ha)	197,214
Imagem (ha)	199,808
Diferença (ha)	2,6
Diferença (%)	1,3
PERÍMETRO	
PCT (m)	7.221,847
Imagem (m)	7.335,961

Diferença (m)	174,11
Diferença (%)	1,5

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, avaliou-se a área declivosa, que por não possuir divisas e riqueza de alvos, torna-se uma área de difícil foto identificação das feições de interesse. Nesta situação, conforme Figura 50, dois dos quatro pontos identificados na imagem atenderam ao erro estabelecido para vértices do tipo V, situados em limites inacessíveis (7,5 m), já um dos pontos atendeu o erro estipulado para vértices do tipo V, situados em limites naturais (3 m), e apenas um dos pontos excedeu, de forma mínima, os erros estabelecidos.

**Figura 50** – Detalhe área declivosa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme a Tabela 9, as áreas e perímetros relacionados a esta situação não apresentaram diferença superior a 2%.

**Tabela 9** – Diferença de área e perímetros em relação a PCT e Imagem, área declivosa, não foto identificável.

Área declivosa, não foto identificável	
ÁREA	
PCT (ha)	101,052
Imagem (ha)	99,284
Diferença (ha)	1,76
Diferença (%)	1,78
PERÍMETRO	
PCT (m)	4.634,745
Imagem (m)	4.525,249
Diferença (m)	109,50
Diferença (%)	2,3

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.3.3 Possibilidades de aplicação e uso

Foi possível constatar que o modelo em área plana a suave ondulada utilizando 7 PCT, (tanto para ortomagem Terracap, quanto para SRTM) enquadrou o produto em um PEC classe A na escala 1:5.000, que é cinco vezes melhor do que o estipulado pelo INCRA para uso de produtos originados de sensoriamento remoto (1:25.000). A similaridade entre as ortomagens originadas tanto do MDE Terracap, quanto SRTM se justifica em função de sua amplitude altimétrica relativamente pequena (ver Figura 51).

**Figura 51** – Ortomagem Terracap (esquerda) e ortomagem SRTM (direita).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Sendo assim, se abre um leque de possibilidades de aplicações deste tipo de produto, destacando-se o uso destas tecnologias de posicionamento com o objetivo de atender as especificações 3ª edição da NTGIR, tendo em vista que a mesma já permite o uso de sensoriamento remoto para determinação de vértices virtuais situados em áreas inacessíveis e em local onde não é possível a implantação estável de um marco e o limite não é coincidente com um elemento físico, como em vértices situados em brejos, e pântanos. Ainda de acordo com a 3ª NTGIR, o vértice virtual correspondente a um limite que não possui elemento físico que o caracterize em campo e a implantação de um marco é inviável, ou ainda em vértices de limite situados em áreas usadas para agropecuária, onde a implantação do marco seria um empecilho para o desenvolvimento da atividade, podendo, ainda, ser utilizado caso o produto cartográfico obtenha PEC classe A na escala de 1:25.000 (INCRA, 2013). A Tabela 10 indica os valores relacionados às discrepâncias das coordenadas para ortoimagem relativa a área plana a suave ondulada, que alcançou um PEC classe A na escala de 1:5.000.

**Tabela 10- Valores das discrepâncias das coordenadas das ortoimagens.**

7 PCT Área planas a suave onduladas		
PONTOS	$\Delta E(m)$	$\Delta N(m)$
1	-0,468	-0,475
2	-0,542	-0,428
3	-0,474	-0,562
4	0,568	-0,545
5	0,496	0,527
6	0,465	0,542
7	0,474	0,446
8	-0,533	0,558
9	0,593	0,571
10	-0,542	0,393
11	-0,487	-0,473
12	0,534	0,495
13	-0,353	-0,581
14	-0,588	-0,324
15	0,582	0,616

16	0,587	0,515
17	0,52	0,511
18	-0,614	0,649
19	0,486	-0,505
20	0,591	0,508
média	0,0648	0,1219
DP	0,5381	0,5149
Composição DP	1,56	

Fonte: Elaborado pelo autor.

O DP composto foi obtido pela raiz quadrada da soma do quadrado das componentes E e N, multiplicado por dois, o que resultou num erro de 1,56 m, não atendendo as precisões dos vértices tipo M e P, que exigem acurácia de até 0,5 m no georreferenciamento de imóveis rurais, contudo é inferior à precisão mais restritiva (3 m) para limites naturais (vértice tipo V). Assim, se abre a possibilidade para aprofundamento em pesquisas com imagens de resolução espacial superior que as utilizadas neste projeto, como a *Worldview 3*, que possui 0,31 m de resolução, em comparação com este produto que é uma fusão de imagens com resoluções de 2,0m e 0,5m.

Outra possibilidade de aplicação, seria no caso de poligonais de imóveis rurais obtidas a partir da delimitação de sua hidrografia, é perceptível que alguns erros de levantamento clássico ou GNSS, podem causar sobreposições entre os imóveis e a hidrografia, o que pode até impedir a certificação do imóvel rural. A delimitação realizada sobre as ortoimagens, seguindo a sua escritura em cartório, é capaz de evitar que esses problemas aconteçam.

Além das sobreposições, é possível evitar outro problema, uma questão relativa a prejuízo de área. Quando o levantamento é feito através do GNSS e da topografia clássica, geralmente os acessos em campo são limitados, e o custo para se realizar um levantamento através dessas técnicas é alto, o que diminui a quantidade de vértices levantados, tornando-os insuficientes para se representar, por exemplo, a margem de um rio em trecho bastante sinuoso. Nesse contexto, observa-se que a forma como o levantamento é realizado (topografia clássica, GNSS ou sensoriamento remoto) é capaz de determinar uma variação na área e perímetro do imóvel ao ser georreferenciado, o que pode ser minimizado a partir do uso de sensores orbitais de alta resolução espacial.

Tais possibilidades também se aplicam a outros procedimentos vinculados a regularização fundiária, tais como os registros cartoriais do imóvel (especialização de matrícula de imóveis), como também será possível utilizar produtos cartográficos confiáveis para utilização no CAR, ocorrendo congruência entre todas estas informações e acelerando assim o processo de regularização fundiário e ambiental dos imóveis rurais brasileiros.

Este método também pode ser aplicado nas instituições de fomento rural, que realizam a fiscalização através de visitas *in loco*, por amostragem, para avaliar se os mutuários do programa estão aplicando corretamente os recursos obtidos através de créditos rurais. Segundo a Resolução Nº 4.427, os bancos podem usar imagens de satélite, aviões ou VANTs para fiscalizar operações de crédito do Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro). Por conseguinte, pela nova regulação, os bancos vão se modernizar e vão iniciar o desenvolvimento de procedimentos remotos para monitorar empréstimos. Além de fiscalizarem as propriedades, os bancos terão que repassar ao Banco Central informações geográficas dos empreendimentos financiados. Por outro lado, as instituições financeiras que não optarem pela fiscalização por sensoriamento remoto terão que fazer vistoria presencial em todos os empreendimentos financiados, sem a possibilidade de usarem amostras.

#### 5.3.3.1 Utilização de MDE proveniente de dados SRTM

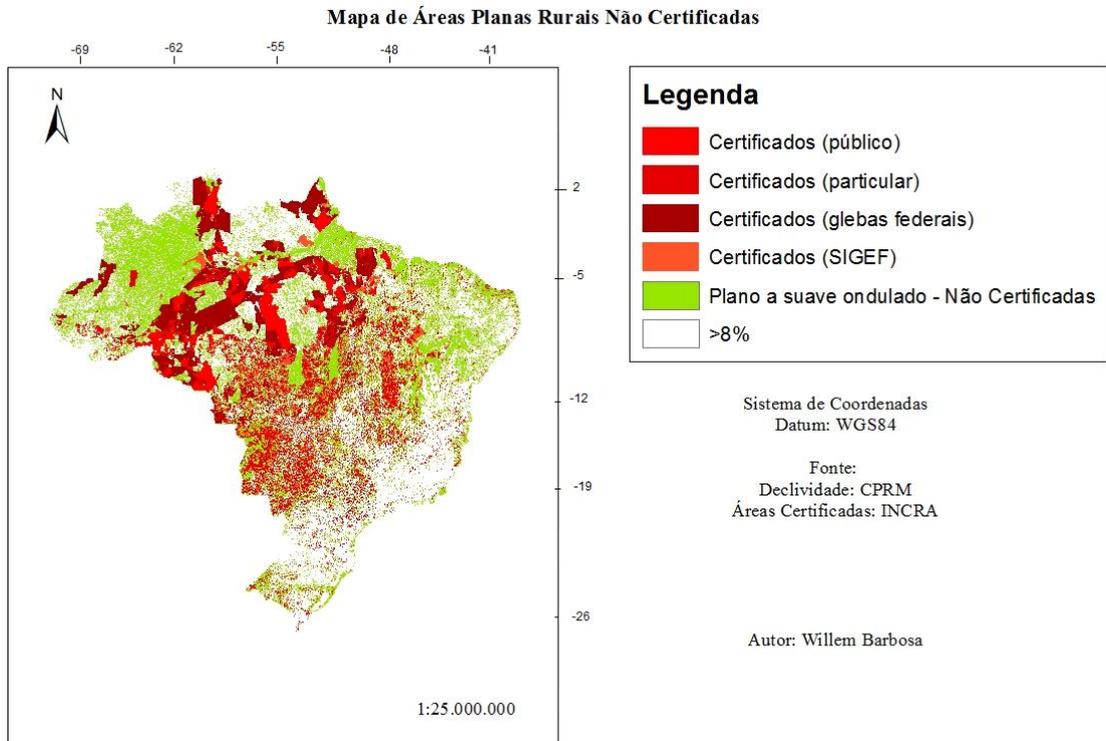
Com intuito de estender o uso do modelo proposto para todo Brasil, identificou-se que o MDE originado dos dados SRTM atende as condições de ortorretificação, para as escalas indicadas, com resultados equivalentes ao MDE gerado pelas curvas de nível (1:10.000) da Terracap, possibilitando aplicações em todo território brasileiro, especialmente em áreas planas a suave onduladas, locais em que os objetos são mais acessíveis e que possuem maior quantidade de feições foto identificáveis.

Grande parte do território nacional é provida de mapeamento em escalas demasiadamente generalizadas (pequenas) para várias utilizações da informação geográfica. Por este aspecto, se pode considerar o dado SRTM uma boa informação geográfica de altimetria disponibilizada para a totalidade de nosso território.

Desta maneira, considera-se que o uso do MDE originado de dados SRTM obteve melhor desempenho em terrenos que variam de planos, a suave ondulados (zero a 8° de declividade). Assim, o Brasil ainda possui cerca de 145.000.000 ha de seu território, como se

calculou (ver Figura 52) que são áreas rurais, dotadas destas características de declividade propícias, bem como ainda não certificadas pelo INCRA.

**Figura 52** – Áreas não certificadas e com relevo compatível a aplicação do método.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados referentes ao cálculo das áreas utilizadas, para determinação da porção do território brasileiro, passível de aplicação da metodologia, são apresentados na Tabela 11.

**Tabela 11** – Áreas passíveis da aplicação da metodologia.

Área planas a suave onduladas rural	507.279.221,20 ha
Área planas a suave onduladas rural não certificada	144.705.903,49 ha
<b>Área certificada pelo INCRA</b>	
Publica	47.190.385,90 ha
Privado	105.022.446,19 ha
Glebas Federais	132.767061,17 ha
SIGEF	77.593.424,45
% plano rural não certificado	28%

Fonte: INCRA (2015). Adaptado.

Ao considerar o custo médio do georreferenciamento, expresso pela equação 16, e a área passível da aplicação da metodologia, tem-se um custo de cerca de R\$10.000/km<sup>2</sup> para levantamentos convencionais em áreas de baixa complexidade fundiária. Já o custo de aquisição da imagem orbital gira em torno de R\$330,00/km<sup>2</sup>, incluindo os pares estéreos, o que associado à base de dados dos imóveis rurais georreferenciados do INCRA, pode proporcionar extensa cobertura territorial, especialmente as pequenas propriedades (até quatro módulos fiscais), tendo em vista que a Lei Nº 10.267/2001 garante isenção de custos financeiros aos proprietários de imóveis rurais para a realização de georreferenciamento e certificação.

$$\sqrt{\text{Área}(\text{ha})} \times \text{salário mínimo}$$

Eq. (16)

Nesse sentido torna-se interessante ao INCRA, do ponto de vista operacional e financeiro, a aquisição de imagens de alta resolução espacial para sua posterior ortorretificação e uso. Assim sendo, o aumento na quantidade de áreas certificadas, irá refletir numa maior arrecadação por meio do Imposto Territorial Rural, para tanto, é imprescindível a fiscalização das informações fornecidas pelo detentor de território no momento de pagamento do tributo. Neste sentido, O INCRA ingressaria com o sistema georreferenciado por satélite para verificar duas informações cruciais declaradas pelos proprietários, no momento de pagar o imposto, o valor da terra nua e seu grau de utilização.

Destaca-se que a quantidade tanto em área, quanto em número de propriedades rurais sem certificação no Brasil ainda é alta. As regiões Norte e Noroeste, em especial, apresentam grandes extensões territoriais passíveis de serem cadastradas, por meio da metodologia proposta. Tais regiões apresentam vegetação densa e de grande porte, elementos que dificultam os levantamentos convencionais. Ressalta-se também que o georreferenciamento de Unidades de Conservação (UC), também pode ser realizado por esta metodologia, tendo em vista a frágil estrutura de equipamentos e técnicos nos órgãos envolvidos na regularização fundiária e ambiental.

O georreferenciamento de imóveis rurais, em função de seu criterioso padrão normativo e alto grau de complexidade no uso de equipamentos e aquisição de dados, indica um panorama com baixo índice de certificações em relação ao cadastro de imóveis rurais junto ao INCRA. Desta maneira, o uso do sensoriamento remoto integrado a outras geotecnologias tem potencial para mapeamento de extensas áreas do território, potencializando uma gestão fundiária mais efetiva do país. A Tabela 12 indica o panorama

geral relacionado ao cadastro e certificação junto ao INCRA, por meio do Sistema Nacional de Certificação de Imóveis (SNCI) e Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF).

**Tabela 12 - Imóveis Rurais Cadastrados e Certificados no INCRA.**

NÚMEROS GERAIS DA CERTIFICAÇÃO			
Tipo	Sistema	Imóveis	Área (ha)
Público	SNCI	2.597	41.713.171,2749
Público	SIGEF	18.444	51.850.406,4388
Subtotal Público		21.041	93.563.577,7137
Privado	SNCI	67.591	91.713.450,9531
Privado	SIGEF	335.007	109.532.850,7976
Subtotal Público		402.598	201.246.301,7507
Total Geral		423.639	294.809.879,4644
Área total de imóveis rurais cadastrados no INCRA			605.387.746,06
Relação entre áreas certificadas e cadastradas			48%

Fonte: INCRA (2015). Adaptado

Observa-se que o Decreto-Lei 4.449/02, já determina a obrigação de georreferenciamento para imóveis rurais acima de 100 ha; contudo regiões como o centro-oeste ainda possuem alto índice de imóveis rurais sem certificação do INCRA, por possuírem em geral, imóveis com área menor do que a estipulada atualmente, bem como problemas relativos a dominialidade (Áreas da União, do Estado e de particulares).

Tendo em vista que a imagem *Worldview 2* utilizada nesta pesquisa é apenas de uma amostra cedida pela Empresa DigiBase, não foi possível obter os pares estereoscópicos da mesma, o que tornaria possível a geração MDE com a utilização de uma *Workstation 3D* (estação de restituição) e de um operador especialista, possibilitando gerar curvas de nível em escala de detalhe, possibilitando seu uso, também para outras aplicações. Também existem programas que a partir de duas imagens geram o MDT, por correlação das mesmas (IDOETA, 2007).

### 5.3.3.2 Reflexão Final, Horizonte Temporal de Trabalho e Perspectivas Futuras

A pesquisa teve seu início no segundo semestre do ano de 2013, época em que os procedimentos de certificação de imóveis rurais eram orientados pelos elementos estabelecidos na 2ª NTGIR, que já possibilitava o uso de posicionamento em tempo real. Entretanto, em setembro do mesmo ano, o INCRA lançou 3ª NTGIR que estabeleceu as condições exigíveis para execução dos serviços de georreferenciamento de imóveis rurais e condicionam os procedimentos as especificações do Manual Técnico de Limites e Confrontações e Manual Técnico de Posicionamento. O primeiro apresenta procedimentos para delimitação do imóvel rural, como também suas respectivas confrontantes e códigos. Já o segundo, alude às técnicas de posicionamento homologados, disponíveis para uso no georreferenciamento. Outro destaque é a possibilidade de uso de novos métodos de posicionamento indireto, em especial o uso de sensoriamento remoto para determinação de limites naturais como rios, encostas e montanhas, eliminando, em alguns casos obrigatoriamente, a implantação de marcos físicos em áreas inacessíveis.

Neste sentido, ainda ano de 2013, surge o Sistema de gestão fundiária (SIGEF), do INCRA, com intuito de automatizar o processo de georreferenciamento e assim obter um maior controle relacionado às informações geradas neste processo, tornando-se o principal sistema de controle e difusão dos dados relativos à estrutura fundiária no Brasil, sendo um sistema totalmente automatizado, em virtude do uso integrado de geotecnologias, o que permite o processamento das informações georreferenciadas, no servidor de dados do próprio INCRA, em que o *input* de dados, acontece por meio de uma planilha de cálculo, padronizada previamente às exigências do SIGEF.

Já em 2015, foram disponibilizadas as imagens do sensor *WorldView 3*, satélite de alta resolução, operando a uma altitude estimada de 617 km, fornecendo resolução espacial de 0,30 m na banda pancromática, e de 1,24 m nas bandas multiespectrais. Esta melhor resolução espacial possibilita a geração de dados ainda mais acurados que seu antecessor *WorldView 2*.

Neste crescente, em novembro do ano de 2017, o INCRA/MG, realizou um georreferenciamento com uso de *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), aliado ao posicionamento por satélite, numa área de 780 ha, indicando que outros elementos, como imagens orbitais de alta resolução espacial também sejam incorporadas e usadas de forma integrada, de maneira a trazer agilidade aos procedimentos técnicos e operacionais relacionados ao processo. Este procedimento técnico foi instituído pelo anúncio da Norma de Execução do INCRA (NE

02/2018), que estabelece critérios para aplicação e avaliação de produtos gerados a partir de aerofotogrametria para determinação de coordenadas de vértices definidores de limites de imóveis rurais. Apesar de apresentar grande avanço do ponto de vista técnico e operacional, esta NE engloba apenas uma parcela dos profissionais que atuam no georreferenciamento de imóveis, os engenheiros cartógrafos e agrimensores, que possuem atribuições, para tais serviços de aerofotogrametria junto ao CREA, excluindo assim, todas as outras áreas de formação que atuam no georreferenciamento e poderiam ser englobadas no uso de imagens orbitais de alta resolução espacial, desde que possuam conhecimentos certificados na área de geoprocessamento.

Deste modo, destaca-se ser uma tendência que na próxima alteração NTGIR, ocorra previsão de uso de sensoriamento remoto e fotogrametria, para determinação de vértices do tipo P, com 0,5 m de precisão e que atualmente deve ser apenas rastreado e não ocupado, em face da evolução dos produtos geotecnológicos disponibilizados no mercado, situação em que o sensoriamento remoto pode trazer benefícios operacionais ao processo.

Outro aspecto importante a se destacar é que no início da pesquisa a referência utilizada para análise de produtos cartográficos era o estabelecido pelo Decreto nº 89.817/1984, que determinava um erro planimétrico de 0,5 mm, na classe A, na escala de representação, o que indicava um PEC planimétrico de 1 m na escala de 1:5.000, o que foi alcançado nos testes em áreas planas a suave onduladas e foto identificáveis e nesta situação representaria o dobro do pixel da imagem. Contudo, e em virtude do significativo desenvolvimento dos produtos cartográficos digitais, os padrões de exigência do PEC ficaram aquém das possibilidades tecnológicas e o Exército brasileiro, por meio da DSG, estabeleceu o novo padrão de Acurácia e Precisão para Produtos Cartográficos Digitais, que em resumo torna o erro planimétrico mais restritivo (0,28 mm). Deste modo, os resultados alcançados em áreas plana a suave onduladas continuam enquadrados na classe A, na escala de 1:5.000, contudo seu PEC é de 1,4 m, o que representa quase 3 pixels.

## 6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho conseguiu atingir os objetivos propostos e a metodologia mostrou-se eficaz para obter bons produtos. A ortoimagem na área plana a suave ondulada e foto identificável, atingiu PEC classe A, na escala de 1:5.000, como também apresentou diferenças de área e perímetro inferiores a 2% em relação ao levantamento de campo, uma vez que a diferença entre as coordenadas de referência e teste se mostraram, na maioria das situações, inferior ao estabelecido para vértices do tipo P, e quando superior, ficou bem próximo ao limite de 0,5 m, o que mostra alto potencial de uso para áreas com tais características de relevo e ainda não certificadas. Em áreas declivosas, por não possuírem riqueza em elementos de divisas e objetos, torna-se uma região de difícil foto identificação das feições de interesse. Neste caso, 2 dos 4 pontos identificados na imagem atenderam ao erro estabelecido para vértices do tipo V, situados em limites inacessíveis (7,5m), já um dos pontos atendeu o erro estipulado para vértices do tipo V, situados em limites naturais (3m), e um dos pontos extrapolou, de forma ínfima, os limites especificados. Já a ortoimagem relativa à área total, alcançou PEC classe A, na escala de 1:10.000, o que atende as especificações determinadas pela NTGIR, com relação ao uso de produtos originados de sensoriamento remoto para georreferenciamento de imóveis rurais.

Destaca-se que a origem dos dados (Terracap/SRTM) para geração do MDE não alterou o processo de ortorretificação, em função da amplitude topográfica da região não influenciar significativamente nos desvios de relevo. A compatibilização de uso dos dados altimétricos originados do SRTM, para os processos de ortorretificação em áreas planas a suave onduladas é um grande avanço quando se trata de um país com porções territoriais extensas como o Brasil, tendo em vista que estes dados dispõem de recobrimento em todo país. O modelo SRTM traz uma vantagem, uma vez que métodos clássicos de levantamento caracterizam-se, entre outros fatores, pelo alto tempo gasto para situações mais complexas, bem como os custos relacionados a logística. Desta forma, o progresso nas técnicas de geoprocessamento é considerado uma evolução, pois permite a redução de custos e tempo de trabalho.

Na área plana a suave ondulada, com uso de 7 PCT, foi possível obter uma composição DP de 1,56m, que apesar ser superior aos 0,5 m estabelecidos para vértices tipo M e P, é melhor do que os 3m estabelecidos para limites naturais e 7m para áreas inacessíveis, ambos vértices tipo V. Os avanços relacionados a resolução espacial de sensores como

*WorldView 3* (0,31 m), podem proporcionar a geração de produtos de qualidade suficiente para a atingir dos erros permitidos para vértices tipo M e P.

Em virtude dos significativos avanços geotecnológicos, a tendência é que a próxima edição da NTGIR permita o uso controlado tanto de produtos obtidos por sensoriamento remoto e/ou fotogrametria, pois desta maneira haverá possibilidade de incorporar todos os profissionais que atuam na área e não apenas o engenheiro cartógrafo e agrimensores, através de formação específica que possibilite a geração de produtos de qualidade suficiente para atendimento das aplicações.

Os resultados apresentados contribuem assim para a regularização fundiária, que é um importante processo, que propicia garantia jurídica e imobiliária, ou seja, facilita a regularização dos imóveis rurais, outorgando ao detentor segurança jurídica em relação à posse e adequando o bem às exigências urbanísticas e ambientais necessárias, o que ainda possibilita o enquadramento nas políticas públicas sociais do governo, além de fomentar a arrecadação tributária, uma vez que quando não estão registrados devidamente, não há a possibilidade de negociação, bem como a arrecadação de impostos. Desta maneira a regularização fundiária potencializa a economia através da cobrança de tributos e da possibilidade de realizar negócios juridicamente resguardados pela lei e garantidos pelo ordenamento jurídico.

O estudo identificou uma área de cerca de 145.000.000 ha, em que é possível a aplicação da metodologia proposta, que integrada a malha de pontos georreferenciada do INCRA, possibilitará agilidade operacional na gestão territorial rural do Brasil e expressiva redução nos custos de execução do processo.

É interessante a continuidade de estudos relacionados a sensores com melhor resolução espacial, como *Worldview 3*, com intuito de verificar os avanços para atendimento da tolerância de vértices M e P.

Também é conveniente ressaltar que o processamento do MDE pode ser realizado com intuito de obter de dados da energia do relevo (conceito equivalente à 2ª derivada da altimetria; sendo a declividade a primeira derivada) em conjunto com a identificação de feições foto identificáveis em regiões com topografia acidentada, especificamente em pontos na base da vertente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMI, M. et al. **Amostragem probabilística estratificada por pontos para estimar a área cultivada com soja**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, June 2010, vol.45(6), p. 585-592. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2010000600008&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2010000600008&lng=pt&tlng=pt)>. Acesso em: 02 nov. 2017.

ALMEIDA, M.; DAL POZ, W. Posicionamento por ponto preciso e posicionamento relativo com gnss. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Jan-Mar 2016, vol. 22(1), p.175-195. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1982-21702016000100175&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1982-21702016000100175&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em: 21 set. 2017..

ANDRADE, R. G., et al. Avaliação das condições de pastagens no cerrado brasileiro por meio de geotecnologias. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, 01 May 2017, vol.7 (1). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1069796/avaliacao-das-condicoes-de-pastagens-no-cerrado-brasileiro-por-meio-de-geotecnologias>>. Acesso em: 17 maio 2018.

ARONOFF, S. **Geographic information systems: A Management Perspective**. WDL Publication, Ottawa, Canadá, 1995.

AUGUSTO, E. A. Georreferenciamento de Imóveis Rurais: conceito de unidade imobiliária. **Revista do Instituto de Registro Imobiliário do Brasil**, São Paulo, n° 327, p. 126, jul./ago. 2006. Disponível em: <<http://www.irib.org.br/obras/conceito-de-unidade-imobiliaria>>. Acesso em: 09 fev. 2018

BARBOSA, M. E. et al. Integridade no posicionamento RTK e RTK em rede. **Boletim de Ciências Geodésicas**, vol.16 (4), pp.589-605. 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/bcg/v16n4/a07v16n4.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2017.

BERVEGLIERI, A. et al. Orientação e ortorretificação de imagens terrestres nadirais. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Jan-Mar 2015, vol. 21(1), p.149-168. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/bcg/article/view/40458/24687>>. Acesso em: 06 jun. 2017

BIAS, E. S. **Vantagens e limitações das imagens de alta resolução como suporte ao planejamento urbano: O exemplo de Sobradinho - Distrito Federal**. Tese (Doutorado), Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências, 2002. Disponível em: <<http://200.145.6.238/handle/11449/100080>>. Acesso em: 27 set. 2015

BLACKBRIDGE. **Satellite imagery product specifications: RapidEye**. 2013. Disponível em:<[http://www.flyby.it/images/brochure/rapideye/eng/re\\_product\\_specifications\\_eng.pdf](http://www.flyby.it/images/brochure/rapideye/eng/re_product_specifications_eng.pdf)>. Acesso em: 2 nov. 2015.

BOGGIONE, G.; et al. Avaliação de imagens simuladas da câmera mux do satélite cbers-4 aplicadas à análise ambiental. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Jul-Sep 2014, vol. 20(3), p. 590-609. Disponível em:<<https://revistas.ufpr.br/bcg/article/view/37849>>. Acesso em: 18 mar. 2017.

BOTTEON, V. W. Aplicabilidade de ferramentas de geotecnologia para estudos e perícias ambientais. **Revista Brasileira de Criminalística**, 01 Apr. 2016, vol.5 (1), p. 7-13. Disponível em:<[https://www.researchgate.net/publication/301598710\\_Aplicabilidade\\_de\\_ferramentas\\_de\\_geotecnologia\\_para\\_estudos\\_e\\_pericias\\_ambientais](https://www.researchgate.net/publication/301598710_Aplicabilidade_de_ferramentas_de_geotecnologia_para_estudos_e_pericias_ambientais)>. Acesso em: 11 out. 2017.

BOSQUILIA, R. et al. Diferentes imagens de satélite no mapeamento visual de drenagens e nascentes em amostras circulares. **Interciencia**, Apr 2016, Vol.41(4), p. 254-259. Disponível em:<<http://bdpi.usp.br/item/002763682>>. Acesso em: 09 dez. 2017.

BRASIL (Ministério do Desenvolvimento Agrário-MDA). **Norma Técnica de Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. 3ª Edição. INCRA. 2013.

BRASIL. **Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984 – Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Diário Oficial da União, Brasília, Brasil, 1984.

CARNEIRO, A. F. T. **Cadastro imobiliário e registro de imóveis**. Porto Alegre: Editora Sérgio Antônio Fabris, 2003. 1. ed. 272 p.

CASTEJON, E. et al. Melhoria do processo de correção geométrica de imagens cbers-ccd pelo uso de amostras georreferenciadas classificadas. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Oct-Dec 2015, vol. 21(4), p. 658-673. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/bcg/v21n4/1982-2170-bcg-21-04-00658.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2018.

CHENG, P. et al. **QuickBird – Geometric Correction, Path and Block processing and data fusion**. EOM, v. 12, n. 3, p. 24-30, 2003. Disponível em:<[https://www.researchgate.net/publication/228598571\\_QuickBird\\_Geometric\\_correction\\_path\\_and\\_block\\_processing\\_and\\_data\\_fusion](https://www.researchgate.net/publication/228598571_QuickBird_Geometric_correction_path_and_block_processing_and_data_fusion)>. Acesso em: 13 jul. 2017.

CHMIEL, J. et al. **Orthorectification and geometric quality assessment of very high spatial resolution satellite imagery for Common Agricultural Policy purposes**. Proceedings of XXth ISPRS Congress. 12-23 (2004). Disponível em:<<https://pdfs.semanticscholar.org/0f6b/b69b479ae08cce3c9ef55952c507050dab94.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2017.

COJOCARU, S. et al. **GPS-GLONASS-GALILEO: A Dynamical Comparison. Journal of Navigation.** 2009, vol.62(1), pp.135-150. Disponível em:

<<https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-navigation/article/gpsglonassgalileo-a-dynamical-comparison/77F0391D00AC592628ED4D84A8C409CE>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

COLMAN, T. et al. **Validação do processo de ortorretificação de uma imagem Worldview 2 em terreno com alto desnível de relevo.** Universidade Federal Do Rio De Janeiro (UFRJ), 2014. Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Laboratório de Cartografia (GeoCart).

CONTADOR, J. L.; SENNE, E. L. F. Testes não paramétricos para pequenas amostras de variáveis não categorizadas. **Gestão e Produção**, 01 Jan. 2016. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104530X2016000300588&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104530X2016000300588&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em: 12 set. 2017

DEBIASE, P, et al. Ortorretificação de imagens ccd cbers 2 através da transformação dlt. **Pesquisas em Geociências**, 2011, vol. 38 (1), p. 55-66. Disponível em: <[http://www.ufrgs.br/srm/ppgsr/publicacoes/Dissert\\_PaulaDebiasi.pdf](http://www.ufrgs.br/srm/ppgsr/publicacoes/Dissert_PaulaDebiasi.pdf)>. Acesso em 22 abr. 2018.

DIAL, G.; GRODECKI, J. **Applications of IKONOS Imagery.** Proceedings of Annual Conference ASPRS, May 2003, Anchorage, Alaska.

DIGITALGLOBE. **WORLVIEW Imagery Products – Products Guide.** 2015. 54 p. Disponível em:<<http://www.digitalglobe.com>>. Acesso em: 09 out 2017.

DINIZ, M. H. **Sistemas de Registro de Imóveis.** 11ª ed. São Paulo: Saraiva, 2014. 779 p.

DOWMAN, I.; TAO, V. An Update on the Use of Rational Functions for Photogrammetric Restitution. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 7, n. 3, Sep. 2002. Disponível em: <<http://discovery.ucl.ac.uk/55177/>>. Acesso em: 24 set. 2016.

EMBRAPA. **Brasil em Relevo.** Disponível em:<<https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/conteudo/relevo/material.htm>>. Acesso em 02 jun. 2017.

EMBRAPA. **Monitoramento por satélite.** Disponível em:<<http://www.sat.cnpm.embrapa.br/index.html>>. Acesso em: 14 out 2017.

FERRANTI, J. Digital Elevation Data. Disponível em:  
<<http://www.viewfinderpanoramas.org/dem3.html>>. Acesso em: Jul 2018.

FERREIRA, N. C. S.; FORTES, S. P, L, Análise preliminar dos impactos do uso de mais de um sistema GNSS no posicionamento preciso. **Revista Cartográfica**, 2016, (92), p.31-52. Disponível em: [https://www.ipgh.org/assets/rca92\\_digital.pdf](https://www.ipgh.org/assets/rca92_digital.pdf). Acesso em: 16 mai. 2018.

FOLLE, F. P. **O Georreferenciamento de imóvel rural e o registro de imóveis**. Dissertação (Mestrado), Departamento de Ciências Jurídicas e Sociais da Faculdade de Direito da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2008.

FRASER, C. S. et al. Processing of Ikonos imagery for submetre 3D positioning and bulding extraction. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing** 1209, 2002. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092427160200045X>>. Acesso em: 29 abr. de 2017.

FRASER, C.S. et al. Sensor orientation via RPCs. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**. p.182–194, 2006. Disponível em:  
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271605000985>>. Acesso em: 02 jun. 2017.

FRITSCH, D.; STALLMANN, D. Rigorous Photogrammetric Processing of High Resolution Satellite Imagery. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**. Vol. XXXIII, Part B1. Amsterdam 2000. Disponível em:<[http://www.isprs.org/proceedings/xxxiii/congress/part1/313\\_XXXIII-part1.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/xxxiii/congress/part1/313_XXXIII-part1.pdf)>. Acesso em: 11 out. 2017.

**GDTA. Spacemaps, Image Mapping Methods, Examples of Implementation.** GDTA Tutorials, Toulouse, France. 1996.

GRIP JUNIOR, J.; et al. Use of geoprocessing techniques for mapping permanent preservation areas (PPAs), and legal reserve areas (LRA) in farms. **Revista Ceres**, 2010, vol. (4), pp.459-468. Universidade Federal de Viçosa/MG. Disponível em:  
<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-737X2010000400004](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-737X2010000400004)>. Acesso em: 29 jul. 2017.

GRODECKI, J.; DIAL, G. Block adjustment of high-resolution satellite images described by rational polynomials. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 69, n. 1, p. 59-68, jan. 2003. Disponível em:  
<[https://www.asprs.org/wpcontent/uploads/pers/2003journal/january/2003\\_jan\\_59-68.pdf](https://www.asprs.org/wpcontent/uploads/pers/2003journal/january/2003_jan_59-68.pdf)>. Acesso em: 13 fev. 2018

GUPTILL, S. C., MORRISON, J. L (Ed.) **Elements of Spatial Data Quality**. Internacional Cartographic Association. Oxford: Elsevier Science, 1997.

IDOETA, I. V. **Metodologia de elaboração automatizada de modelo digital de elevação e orotofoto em média e pequena escala**. 2007. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo.

INDE. **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais**. Editoração e impressão pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro, 2ª Edição, 09 Ago. 2011. Diretoria de Serviço Geográfico Do Exército - DSG.

INCRA. **Manual Técnico de Posicionamento**. 2013. Disponível em <[http://www.incra.gov.br/sites/default/files/uploads/estrutura-fundiaria/regularizacao-fundiaria/certificacao-de-imoveis-rurais/manual\\_tecnico\\_de\\_posicionamento\\_1\\_edicao.pdf](http://www.incra.gov.br/sites/default/files/uploads/estrutura-fundiaria/regularizacao-fundiaria/certificacao-de-imoveis-rurais/manual_tecnico_de_posicionamento_1_edicao.pdf)>. Acesso em: 30 jan. 2016.

INCRA. **Números gerais acervo fundiário**. 2015. Disponível em: <[http://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/dados\\_acervo.php#](http://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/dados_acervo.php#)>. Acesso em: 13 abr. 2018.

JACOBSEN, K.; **Geometric potential of Ikonos- and Quickbird-images**. Photogrammetric Weeks, n. 3, p. 101-110, 2003. Disponível em: <<http://www.ifp.unistuttgart.de/publications/phowo03/jacobsen.pdf>>. Acesso em 27 maio 2017.

KRISCHKE, M.; et al. RapidEye satellite based geo-information system. **Acta Astronautica**, v. 46, n. 2-6, p. 307–312, 2000. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0094576599002192>>. Acesso em: 03 abr. 2016.

LI, H. et al. **Assessment of Pansharpening Methods Applied to WorldView-2 Imagery Fusion**. *Sensors*, 2017, vol.17(1), p. 89. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5298662/>>. Acesso em: 23 jun. 2016.

LOUREIRO FILHO, L.S. **Notas e Registros Públicos**. São Paulo: ed. Saraiva, 2004.

MANFREDO, M. T. Os conflitos pela terra no Brasil. Campinas/SP, UNICAMP. **ComCiência** nº133. 2011. Disponível em: <[http://comciencia.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S151976542011000900005&lng=pt](http://comciencia.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S151976542011000900005&lng=pt)>. Acesso em: 18 jan. 2016.

MENEGHETTI, G. T. **Classificação da cobertura da terra do município de Raposa (MA) com imagens Worldview 2 utilizando o aplicativo InterIMAGE e mineração de dados**.

2013. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3DSF9PP>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

MONICO, J. F. Galera. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo, 2008.

NASCIMENTO, A. B., SOUZA, K. L. Georreferenciamento: Uma Abordagem da Lei 10.267/2001 sobre Registro de Imóveis Rurais Utilizando Tecnologia GPS. **Revista Principia**, 01 Sep. 2006, vol.1 (14), p.108-111. Disponível em: <<http://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/issue/view/15>>. Acesso em: 15 maio 2016.

NETO, F. et al. Avaliação da qualidade posicional de dados espaciais gerados por vant utilizando feições pontuais e lineares para aplicações cadastrais. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Jan/Mar 2017, vol. 23 (1), p. 134-149. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S19821702017000100134&script=sci\\_abstract&tlng=>](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S19821702017000100134&script=sci_abstract&tlng=>)>. Acesso em: 12 fev. 2018.

NOGUEIRA JÚNIOR, J. B. **Controle de qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica**. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, São Paulo, 2003. Disponível em: <[http://www2.fct.unesp.br/pos/cartografia/docs/teses/d\\_nogueira\\_jr\\_jb.pdf](http://www2.fct.unesp.br/pos/cartografia/docs/teses/d_nogueira_jr_jb.pdf)>. Acesso em: 05 set. 2016.

ODIJK, D. et al. GPS, Galileo, QZSS and IRNSS differential ISBs: estimation and application. **GPS Solutions**, 2017, vol.21 (2), pp.439-450. ISSN: 1080-5370. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10291-016-0536-y>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

OLIVETE, A. L.; TOMMASELLI, A. M. G. **Utilização de imagens omnidirecionais georreferenciadas como controle de campo para orientação de imagens orbitais**. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Tese Doutorado, 2014. Networked Digital Library of Theses and Dissertations. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/132243>>. Acesso em: 04 out. 2016.

PADWICK, C.; DESKEVICH, M.; PACIFICI, F. SMALLWOOD, S. **Worldview 2 Pan Sharpening**. In: ASPRS Annual Conference, 2010, San Diego. Proceedings... San Diego, Califórnia: ASPRS, 2010. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/cef5/4a1a117157ab3ec336ff83acc62eaafdd3c2.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2016.

PETRIE, G. Optical imagery from airborne & spaceborne platforms, comparisons of resolution, coverage & geometry for a given ground pixel size. **Geo informatics**. 2002.

Disponível em: <[http://www.petriefied.info/28\\_35\\_dossier2.pdf](http://www.petriefied.info/28_35_dossier2.pdf)> Acesso em: 25 ago. 2016.

PINTO, M. et al. Influência da combinação de dados GPS e GLONASS no georreferenciamento de imóveis rurais. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Jan-Mar 2013, vol.19 (1), pp.135-151. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/bcg/v19n1/a09v19n1.pdf>>. Acesso em: 11 fev. 2017.

PROL, F.; CAMARGO, P. Estimativa da tendência diferencial do código nos receptores GNSS. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Oct-Dec 2014, vol. 20 (4), p.735-749. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S198221702014000400735&script>>. Acesso em: 04 ago. 2017.

RAMBO, J. A.; RAMBO, L. I. Implantação do cadastro territorial multifinalitário no Brasil. **Revista Brasileira de Geomática**, 01 March 2013, vol. 1 (1), p. 42-51. Disponível em:<<https://periodicos.utfrpr.edu.br/rbgeo/article/view/5438>>. Acesso em: 13 set. 2017.

RAZALI, N. M., & WAH, Y. B. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. **Journal of Statistical Modeling and Analytics**, 2(1), 21-33, 2011. Disponível em: <[http://www.researchgate.net/profile/Bee\\_Yap/publication.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Bee_Yap/publication.pdf)> Acesso em 28 de outubro de 2015.

SANTOS, A. et al. Controle de qualidade posicional em dados espaciais utilizando feições lineares. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Apr-Jun 2015, vol. 21 (2), p. 233-250. Disponível em:<<http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S198221702015000200233&scrip>>. Acesso em: 23 out. 2016.

SANTOS, A., et al. Avaliação da acurácia posicional em dados espaciais utilizando técnicas de estatística espacial: proposta de método e exemplo utilizando a norma brasileira. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Oct-Dec 2016, vol. 22 (4), p. 630-650. Disponível em:<<file:///C:/Users/Willen/Downloads/49633-191276-1-PB.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2016.

SEMARH. **MAPA AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL**. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2006, Brasília. Disponível em: <<http://www.ibram.df.gov.br/pdfs/institucional/Mapa%20Ambiental%202014.pdf>>, acesso em: 13 maio 2015.

SILVA, G. S et al. **Procedimentos para correção geométrica de imagens de satélite**. Campinas, SP, Dezembro, 2012. Circular técnica 18. Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/958866/procedimentos-para-correcao-geometrica-de-imagens-de-satelite>>. Acesso em: 23 abr. 2017.

SILVA, L. F., BACANI, V. M. Análise multitemporal do uso da terra e cobertura vegetal no pantanal de aquidauana com o uso de geotecnologias. **REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA**. Fortaleza, Brasil, v. 9, n. 2, p. 27-40, jul./dez. 2015. Disponível em: <<http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/303>>. Acesso em: 07 nov. 2016.

SILVA, E.; MARQUES, H. PPP com integração de dados gps/glonass: fundamentos envolvidos e análise de acurácia. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Apr-Jun. 2016, vol. 22 (2), p. 217-232. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/bcg/v22n2/1982-2170-bcg-22-02-00217.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2016.

SOARES-FILHO, B. et al. Cracking Brazil's forest code. **Science**, v. 344, p. 363– 364, 2014. Disponível:<[http://lerf.eco.br/img/publicacoes/Soares\\_Filho\\_etal\\_2014\\_artigo\\_Science.pdf](http://lerf.eco.br/img/publicacoes/Soares_Filho_etal_2014_artigo_Science.pdf)>. Acesso em: 09 dez. 2016.

SOUZA, U. D. V. **Classificação da cobertura e do uso do solo urbano de São Luís (MA), com imagens Worldview 2 utilizando Mineração de Dados e o sistema InterIMAGE**. 2012. 114 p.(sid.inpe.br/mtc-m19/2012/10.17.17.34-TDI). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012. Disponível em:<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CR8EL8>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

SOUZA, G. F. et al. Uso de Diferentes Sensores de Satélite na Discriminação de Alvos Naturais. **Anuário do Instituto de Geociências**, 01 Jan. 2016, vol. 39 (1), p. 13-22. Disponível em: <<https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/7858>>. Acesso em: 17 abr. 2017.

TAPSALL, B.; MILENOV, P.; TAS, K. **Analysis of RapidEye imagery for annual landcover mapping as an aid to European Union (EU) common agricultural policy**. (W. W., B. Székely, Eds.) ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS. Anais...Vienna, Austria: 2010. Disponível em: [http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/part7/b/pdf/568\\_XXXVIII-part7B.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/part7/b/pdf/568_XXXVIII-part7B.pdf). Acesso em: ....

TJDFT. **Provimento 2 de 19 de abril de 2010**: procedimento de retificação de registros de imóveis por força da Lei nº 10.931/04 e a necessidade de obediência à especialização das matrículas de imóveis rurais por georreferenciamento, conforme a Lei nº 10.267/01. Tribunal de Justiça do Distrito Federal e dos Territórios, 2010. Disponível em <<https://www.tjdft.jus.br/publicacoes/publicacoes-oficiais/provimento-extrajudicial/2010/2>>, acesso em: 21 de mar. 2018.

TOLEDO, B. H. C.; BERTOTTI, L. G. **Breve histórico da certificação de imóveis rurais no Brasil e apresentação do Sistema de Gestão Fundiária - SIGEF**. *Ambiência* Guarapuava (PR) v.10 n.3 p. 839 - 847 Set/Dez.2014. Disponível em:

<<https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/viewFile/2815/2382>>. Acesso em: 02 jan. 2017.

TOUTIN, T. Geometric processing of remote sensing images: models, Algorithms and Methods. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 10, p. 1893-1924, May 2004. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0143116031000101611>>. Acesso em: 19 ago. 2017.

TOUTIN, T. et al. **3D Models for High Resolution Images: Examples with Quickbird, Ikonos and Eros**. Proceedings of Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applicatios. Ottawa, 2002. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.127.5733&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

WERLICH, R. et al. A influência dos parâmetros de calibração de antenas GPS nas altitudes elipsoidais no posicionamento relativo estático. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Jul-Set 2015, vol. 21 (3), p. 532-547. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/bcg/article>>. Acesso: 22 fev. 2018.

WOLNIEWICZ, W. Assessment of geometric accuracy of VHR satellite images. **International Archives Of Photogrammetry Remote Sensing And Spatial Information Sciences**, v. 35, n. 1, p. 19-23, jan. 2004. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.184.3023>>. Acesso em: 12 jul. 2017.

YANG, B.; XIN, Y. Remote sensing image classification of geoeye-1 high-resolution satellite. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives**, 2014, vol. 40 (4), p. 325-328. Disponível em: <<https://www.int-arch-photogramm-remote-sensspatialinfsci.net/XL4/325/2014/isprsarchives-XL-4-325-2014.pdf>>. Acesso em: 01 de maio de 2018.

ZOEJ, M. J. V. et al. **2D Geometric Correction of Ikonos Imagery Using Genetc Algorithm**. Proceedings of Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applicatios. Ottawa, 2002. Disponível em: <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/part4/pdfpapers>>. Acesso em: 27 jul. 2017.

## APÊNDICE A

### Avaliação do Padrão de Acurácia Posicional em Dados Espaciais

#### RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO GEOPEC

##### DADOS DO PRODUTO

---

Produto: **Área total 10 PCT**  
 Responsável Técnico: Willem

---

##### CLASSIFICAÇÃO FINAL DO PRODUTO

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984 - Análise Planimétrica  
 Metodologia: Santos et al. (2016) com as tolerâncias PEC-PCD da ET-CQDG  
 O produto "Área total" é ACURADO para a escala de 1/10000. O resultado do PEC-PCD foi "Classe A", de acordo com o Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras, aliada às tolerâncias da ET-CQDG.  
 O produto foi submetido a análise de tendência e precisão em suas componentes posicionais, onde os resultados foram: É Preciso e Não há Tendência.  
 Pontos de checagem utilizados: 20  
 RMS das discrepâncias (m): 1,4539

---

##### INFORMAÇÕES GERAIS

---

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984  
 Análise Planimétrica

---

##### PROCESSAMENTO

Escala de Referência: 1/10000  
 Pontos de checagem inseridos: 20  
 Pontos de checagem utilizados: 20

---

##### OUTLIERS

>> Outliers detectados: 0  
 >> Valor limite - detecção: 9

---

##### ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(E)= -0,0007	Média(N)= 0,3184	Média(ABS)= 1,406
>> Desv-pad(E)= 1,0524	Desv-pad(N)= 1,0054	Desv-pad(ABS)= 0,38
>> RMS(E)= 1,0257	RMS(N)= 1,0304	RMS(ABS)= 1,4539

---

##### PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

>> Vizinho mais próximo:  
 :: Área (m<sup>2</sup>) = 6000000  
 :: 1ª ordem - R= 0,7188 Zcalc= -2,4062 Ztab= 1,96  
 Resultado = Padrão AGRUPADO - (significativo estatisticamente) - 95%  
 :: 2ª ordem - R= 0,983 Zcalc= -0,2097 Ztab= 1,96  
 Resultado = Padrão AGRUPADO - (NÃO é significativo estatisticamente) -  
 95%  
 :: 3ª ordem - R= 1,1744 Zcalc= 2,6526 Ztab= 1,96

Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%

---

TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade Shapiro-Wilk :  
 Wcalc(E)= 0,8757    Wcalc(N)= 0,8519  
 p-value(E)= 0,0148    p-value(N)= 0,0057  
 Nível de Confiança = 95%  
 Amostra NÃO Normal

---

TESTE DE PRECISÃO

>> Decreto 89.817:  
 PEC= 2,8    EP= 1,7  
 Resultado: Classe A

---

TESTE DE TENDÊNCIA

>> Teste t de Student  
 tcalc(E)= -0,003    tcalc(N)= 1,4163    ttab= 1,7291  
 Resultado: Inconclusivo (não tendencioso)  
 >> Estatística Espacial  
 Média Direcional (Azimute)= 355,9924    Variância Circular= 0,7031  
 Resultado: Não Tendencioso

---

DISCREPÂNCIAS - PONTOS DE CHECAGEM

---

ID	di(E)	di(N)	di(ABS)
01	0,571	0,794	0,978
02	-1,133	-0,715	1,3397
03	-0,842	-0,714	1,104
04	0,473	0,768	0,902
05	-0,784	1,156	1,3968
06	-1,491	-0,859	1,7207
07	-1,123	1,162	1,616
08	0,811	-1,414	1,6301
09	1,444	-1,855	2,3508
10	-1,371	1,156	1,7933
11	-0,733	0,838	1,1133
12	0,906	0,825	1,2253
13	0,75	0,743	1,0557
14	-0,719	1,434	1,6042
15	1,331	1,466	1,9801
16	-0,638	0,813	1,0334
17	1,279	0,788	1,5023
18	0,731	0,947	1,1963
19	1,457	-0,551	1,5577
20	-0,932	-0,413	1,0195

## APÊNDICE B

### Avaliação do Padrão de Acurácia Posicional em Dados Espaciais RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO GEOPEC

#### DADOS DO PRODUTO

---

Produto: **Área planas a suave onduladas 5 PCT**

Responsável Técnico: Willem

---

#### CLASSIFICAÇÃO FINAL DO PRODUTO

---

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984 - Análise Planimétrica

Metodologia: Santos et al. (2016) com as tolerâncias PEC-PCD da ET-CQDG

O produto "Área planas a suave onduladas 5 PCT", É ACURADO para a escala de 1/5000. O resultado do PEC-PCD foi "Classe D", de acordo com o Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras, aliada às tolerâncias da ET-CQDG.

O produto foi submetido a análise de tendência e precisão em suas componentes posicionais, onde os resultados foram: É Preciso e Não há Tendência.

Pontos de checagem utilizados: 20

RMS das discrepâncias (m): 2,6252

---

#### INFORMAÇÕES GERAIS

---

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984

Análise Planimétrica

---

#### PROCESSAMENTO

Escala de Referência: 1/5000

Pontos de checagem inseridos: 20

Pontos de checagem utilizados: 20

---

#### OUTLIERS

>> Outliers detectados: 0

>> Valor limite - detecção: 4,5

---

#### ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(E)= 0,3034

Média(N)= 0,4933

Média(ABS)= 2,5655

>> Desv-pad(E)= 1,8478

Desv-pad(N)= 1,8674

Desv-pad(ABS)= 0,5713

>> RMS(E)= 1,8264

RMS(N)= 1,8858

RMS(ABS)= 2,6252

---

#### PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

>> Vizinho mais próximo:

:: Área (m<sup>2</sup>) = 2600000

:: 1ª ordem - R= 0,8964 Zcalc= -0,8862 Ztab= 1,96

Resultado = Padrão AGRUPADO - (NÃO é significativo estatisticamente) -

95%

:: 2ª ordem - R= 1,0214 Zcalc= 0,2641 Ztab= 1,96

Resultado = Padrão DISPERSO - (NÃO é significativo estatisticamente) - 95%

:: 3ª ordem - R= 1,0169 Zcalc= 0,2563 Ztab= 1,96

Resultado = Padrão DISPERSO - (NÃO é significativo estatisticamente) - 95%

---

TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade Shapiro-Wilk :  
 Wcalc(E)= 0,8439    Wcalc(N)= 0,7928  
 p-value(E)= 0,0042    p-value(N)= 0,0007  
 Nível de Confiança = 95%  
 Amostra NÃO Normal

---

TESTE DE PRECISÃO

>> Decreto 89.817:  
 PEC= 5    EP= 3  
 Resultado: Classe D

---

TESTE DE TENDÊNCIA

>> Teste t de Student  
 tcalc(E)= 0,7343    tcalc(N)= 1,1814    ttab= 1,7291  
 Resultado: Inconclusivo  
 >> Estatística Espacial  
 Média Direcional (Azimute)= 26,6589    Variância Circular= 0,8275  
 Resultado: Não Tendencioso

---

DISCREPÂNCIAS - PONTOS DE CHECAGEM

ID	di(E)	di(N)	di(ABS)
01	1,145	-1,348	1,7687
02	1,515	1,739	2,3064
03	-1,108	-1,163	1,6063
04	-1,132	-1,403	1,8027
05	1,46	2,11	2,5659
06	2,456	2,724	3,6677
07	1,15	1,547	1,9276
08	-1,387	1,878	2,3347
09	2,306	2,263	3,2309
10	-2,702	-1,958	3,3369
11	-1,422	-1,631	2,1638
12	0,906	0,825	1,2253
13	-1,775	-1,746	2,4898
14	-1,796	-2,198	2,8385
15	1,815	1,157	2,1524
16	2,193	1,846	2,8665
17	1,746	2,124	2,7495
18	-2,131	-2,082	2,9792
19	1,766	1,986	2,6576
20	1,752	1,847	2,5458

## APÊNDICE C

### Avaliação do Padrão de Acurácia Posicional em Dados Espaciais RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO GEOPEC

#### DADOS DO PRODUTO

---

**Produto: Área planas a suave onduladas 6 PCT**

Responsável Técnico: Willem

---

#### CLASSIFICAÇÃO FINAL DO PRODUTO

---

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984 - Análise Planimétrica

Metodologia: Santos et al. (2016) com as tolerâncias PEC-PCD da ET-CQDG

O produto "Área planas a suave onduladas 6 PCT", É ACURADO para a escala de 1/5000. O resultado do PEC-PCD foi "Classe B", de acordo com o Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras, aliada às tolerâncias da ET-CQDG.

O produto foi submetido a análise de tendência e precisão em suas componentes posicionais, onde os resultados foram: É Preciso e Não há Tendência.

Pontos de checagem utilizados: 20

RMS das discrepâncias (m): 1,3903

---

#### INFORMAÇÕES GERAIS

---

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984

Análise Planimétrica

---

#### PROCESSAMENTO

Escala de Referência: 1/5000

Pontos de checagem inseridos: 20

Pontos de checagem utilizados: 20

---

#### OUTLIERS

>> Outliers detectados: 0

>> Valor limite - detecção: 4,5

---

#### ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(E)= 0,1573

Média(N)= 0,0876

Média(ABS)= 1,3819

>> Desv-pad(E)= 0,9839

Desv-pad(N)= 1,0161

Desv-pad(ABS)= 0,1563

>> RMS(E)= 0,9718

RMS(N)= 0,9943

RMS(ABS)= 1,3903

---

#### PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

>> Vizinho mais próximo:

:: Área (m<sup>2</sup>) = 2600000

:: 1ª ordem - R= 0,8964 Zcalc= -0,8862 Ztab= 1,96

Resultado = Padrão AGRUPADO - (NÃO é significativo estatisticamente) -

95%

:: 2ª ordem - R= 1,0214 Zcalc= 0,2641 Ztab= 1,96

Resultado = Padrão DISPERSO - (NÃO é significativo estatisticamente) - 95%  
 :: 3ª ordem - R= 1,0169 Zcalc= 0,2563 Ztab= 1,96  
 Resultado = Padrão DISPERSO - (NÃO é significativo estatisticamente) - 95%

#### TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade Shapiro-Wilk :  
 Wcalc(E)= 0,7201 Wcalc(N)= 0,7013  
 p-value(E)= 0,0001 p-value(N)= 0  
 Nível de Confiança = 95%  
 Amostra NÃO Normal

#### TESTE DE PRECISÃO

>> Decreto 89.817:  
 PEC= 2,5 EP= 1,5  
 Resultado: Classe B

#### TESTE DE TENDÊNCIA

>> Teste t de Student  
 tcalc(E)= 0,715 tcalc(N)= 0,3856 ttab= 1,7291  
 Resultado: Inconclusivo  
 >> Estatística Espacial  
 Média Direcional (Azimute)= 79,8663 Variância Circular= 0,9308  
 Resultado: Não Tendencioso

#### DISCREPÂNCIAS - PONTOS DE CHECAGEM

ID	di(E)	di(N)	di(ABS)
01	-0,921	-0,913	1,2968
02	-0,893	-0,875	1,2502
03	-0,877	-0,888	1,2481
04	0,868	-0,918	1,2634
05	0,769	1,098	1,3405
06	1,169	1,041	1,5653
07	0,817	0,813	1,1526
08	-0,887	1,141	1,4452
09	1,07	1,135	1,5598
10	-0,865	-0,875	1,2304
11	-0,863	-0,889	1,239
12	1,101	1,185	1,6175
13	-0,775	-0,843	1,1451
14	-0,96	-0,851	1,2829
15	1,039	1,069	1,4907
16	1,085	1,079	1,5302
17	1,13	1,132	1,5995
18	-1,027	-0,87	1,346
19	1,06	-1,072	1,5076
20	1,106	1,054	1,5278

## APÊNDICE D

### Avaliação do Padrão de Acurácia Posicional em Dados Espaciais RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO GEOPEC

#### DADOS DO PRODUTO

---

**Produto: Área planas a suave onduladas 7 PCT**

Responsável Técnico: Willem

---

#### CLASSIFICAÇÃO FINAL DO PRODUTO

---

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984 - Análise Planimétrica

Metodologia: Santos et al. (2016) com as tolerâncias PEC-PCD da ET-CQDG

O produto "Área planas a suave onduladas 7 PCT", É ACURADO para a escala de 1/5000. O resultado do PEC-PCD foi "Classe A", de acordo com o Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras, aliada às tolerâncias da ET-CQDG.

O produto foi submetido a análise de tendência e precisão em suas componentes posicionais, onde os resultados foram: É Preciso e Não há Tendência.

Pontos de checagem utilizados: 20

RMS das discrepâncias (m): 0,7389

---

#### INFORMAÇÕES GERAIS

---

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984

Análise Planimétrica

---

#### PROCESSAMENTO

Escala de Referência: 1/5000

Pontos de checagem inseridos: 20

Pontos de checagem utilizados: 20

---

#### OUTLIERS

>> Outliers detectados: 0

>> Valor limite - detecção: 4,5

---

#### ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(E)= 0,0648

Média(N)= 0,1219

Média(ABS)= 0,7361

>> Desv-pad(E)= 0,5381

Desv-pad(N)= 0,5149

Desv-pad(ABS)= 0,0664

>> RMS(E)= 0,5285

RMS(N)= 0,5165

RMS(ABS)= 0,7389

---

#### PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

>> Vizinho mais próximo:

:: Área (m<sup>2</sup>) = 2600000

:: 1ª ordem - R= 0,8964 Zcalc= -0,8862 Ztab= 1,96

Resultado = Padrão AGRUPADO - (NÃO é significativo estatisticamente) -

95%

:: 2ª ordem - R= 1,0214 Zcalc= 0,2641 Ztab= 1,96

Resultado = Padrão DISPERSO - (NÃO é significativo estatisticamente) - 95%

:: 3ª ordem - R= 1,0169 Zcalc= 0,2563 Ztab= 1,96

Resultado = Padrão DISPERSO - (NÃO é significativo estatisticamente) - 95%

.....  
**TESTE DE NORMALIDADE**

>> Teste de Normalidade Shapiro-Wilk :  
 Wcalc(E)= 0,7276    Wcalc(N)= 0,7423  
 p-value(E)= 0,0001    p-value(N)= 0,0001  
 Nível de Confiança = 95%  
 Amostra NÃO Normal

.....  
**TESTE DE PRECISÃO**

>> Decreto 89.817:  
 PEC= 1,4    EP= 0,85  
 Resultado: Classe A

.....  
**TESTE DE TENDÊNCIA**

>> Teste t de Student  
 tcalc(E)= 0,5386    tcalc(N)= 1,0588    ttab= 1,7291  
 Resultado: Sem tendência

>> Estatística Espacial  
 Média Direcional (Azimute)= 26,9498    Variância Circular= 0,836  
 Resultado: Não Tendencioso

.....  
**DISCREPÂNCIAS - PONTOS DE CHECAGEM**

ID	di(E)	di(N)	di(ABS)
01	-0,468	-0,475	0,6668
02	-0,542	-0,428	0,6906
03	-0,474	-0,562	0,7352
04	0,568	-0,545	0,7872
05	0,496	0,527	0,7237
06	0,465	0,542	0,7141
07	0,474	0,446	0,6508
08	-0,533	0,558	0,7717
09	0,593	0,571	0,8232
10	-0,542	0,393	0,6695
11	-0,487	-0,473	0,6789
12	0,534	0,495	0,7281
13	-0,353	-0,581	0,6798
14	-0,588	-0,324	0,6714
15	0,582	0,616	0,8475
16	0,587	0,515	0,7809
17	0,52	0,511	0,7291
18	-0,614	0,649	0,8934
19	0,486	-0,505	0,7009
20	0,591	0,508	0,7793