

PRISCILA MIDORI MIYASHITA

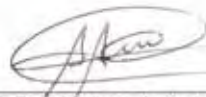
**AVALIAÇÃO DE UMA METODOLOGIA DE BAIXO CUSTO PARA O CADASTRO
DE PROPRIEDADES EM ÁREAS DE EXPANSÃO E VAZIOS URBANOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da Universidade Estadual Paulista – Campus de Presidente Prudente, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Cartográficas.

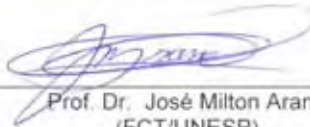
**Orientadores: Prof. Dr. Amilton Amorim
Prof. Dr. Paulo de Oliveira
Camargo**

**Presidente Prudente
2008**

BANCA EXAMINADORA



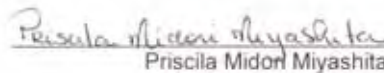
Prof. Dr. Amilton Amorim
(Orientador)



Prof. Dr. José Milton Arana
(FCT/UNESP)



Prof. Dr. Paulo Márcio Leal de Menezes
(UFRJ)



Priscila Midori Miyashita

Presidente Prudente (SP), 28 de julho de 2008.

Resultado: APROVADO

DEDICATÓRIA

À Deus, por guiar meus passos, e conceder-me todas as bênçãos da minha vida.

Aos meus amados pais, Leonardo e Ivone, pelas lições de vida, amor e honestidade transmitidas durante toda a minha trajetória.

À minha querida irmã Leticia que sempre depositou confiança e amizade nos momentos mais difíceis.

Aos amigos que sempre estiveram presentes em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Dedico meu sinceros agradecimentos a todos que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, em especial:

À Deus por trilhar com amor meus passos, aos meus pais e a minha irmã que tornaram meus sonhos realidade, aos familiares que sempre me incentivaram em minhas escolhas, e aos meus amigos que sempre acreditaram em mim.

Ao Professor Dr. Amilton Amorim, meu orientador, por toda amizade, confiança e contribuição para o desenvolvimento dessa pesquisa. Ao meu co-orientador, Professor Dr. Paulo de Oliveira Camargo, por todas as contribuições depositadas mesmo estando longe.

A todos os professores do Departamento de Cartografia que contribuíram significativamente para a minha formação acadêmica, e funcionários que sempre estavam dispostos a me ajudar.

As valorosas colocações realizadas pelos Professores Antonio M. G. Tommaselli e José Milton Arana, no meu exame de qualificação.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo auxílio financeiro concedido por meio da bolsa de estudos.

À minha melhor amiga e irmã Rejane, que compartilhou todos os momentos felizes e ruins dos últimos nove anos ao meu lado, pelo carinho, força e valorosa amizade que me fez escolher sempre os melhores caminhos.

Aos amigos do PPGCC, em especial a Rejane, Paula, Regina, Aline, Nilcilene “Aninha”, Maria Lígia, Adriana, Guilherme Poleszuk, Gabriel, Guilherme Barros Tiago Tiedkte, Tiago Samizava, Willian e Claudinei, pelos bons momentos de descontração.

Aos companheiros Gabriel e Marcelo pela enorme ajuda nos trabalhos de campo, que não foram poucos.

Obrigada a todos que direta ou indiretamente me ajudaram no desenvolvimento deste trabalho, tanto no aspecto científico quanto nas palavras de apoio e incentivo.

EPÍGRAFE

*"Para realizar grandes conquistas, devemos não apenas agir,
mas também sonhar, não apenas planejar,
mas também acreditar"*

Anatole France

RESUMO

É comum encontrar nas prefeituras brasileiras sistemas cadastrais praticamente abandonados com muitas falhas e sem qualquer política de manutenção. Dentre as falhas dos atuais modelos de Cadastro, existe uma que necessita de inovações quanto ao processo de aquisição de informações. Trata-se da definição dos limites das propriedades que não fazem parte dos loteamentos urbanos, tais como chácaras de recreio e vazios urbanos que raramente são cadastrados, prejudicando principalmente o planejamento e a gestão municipal. A falta de cadastramento desses imóveis decorre muitas vezes devido à dificuldade em levantar imóveis grandes, de formatos irregulares e localizados longes dos centros urbanos. As imagens obtidas pelo sensor abordo do satélite QuickBird, após corrigidos geometricamente proporcionam ao usuário vasta aplicabilidade em diversas áreas, incluindo o mapeamento do uso do solo através de técnicas de classificação e atualização cartográfica. Além da utilização das imagens de satélites foi proposto neste trabalho o uso das observáveis coletadas com o receptor de navegação *Garmin* GPS 12XL para a realização do posicionamento tridimensional. Os dados coletados com o receptor de navegação foram armazenados numa coletora do tipo *Workabout Pro*, por meio dos programas ASYNC e GAR2RNX. Com o objetivo de auxiliar nesse processo de aquisição de informações cadastrais imobiliárias referentes às glebas urbanas, foi avaliado o potencial das imagens QuickBird ortorretificadas para fornecer informações relativos ao posicionamento das glebas urbanas, e deste modo, diminuindo o trabalho de campo para a execução do mapeamento Cadastral. Mesmo que ainda, tais imagens não proporcionem qualidade posicional compatível ao exigido para o Cadastramento dos imóveis urbanos para fins de tributação e/ou registro, a sua utilização para realização de um pré-cadastramento, objetivando mapear e identificar os limites físicos de uma gleba a outra, é significativamente viável, uma vez que os custos para o levantamento convencional ainda são relativamente altos, sendo praticamente inviável e pouco atraente principalmente para as prefeituras de pequeno porte.

ABSTRACT

It is common to find in Brazilian townhalls cadastral systems almost abandoned with many faults and without any policy of maintenance. Among the imperfections of the current Cadastral models, there is one that needs innovations with regard to the process of acquiring information. It is the definition of the limits of properties that don't make part of urban lots, such as small farms for recreation and urban empty areas that are rarely registered, damaging mainly the planning and municipal management. The lack of registration of these parcels often happen because of the difficulty in survey big parcels of irregular formats and located distant from urban areas. The images obtained by the sensor on board of the QuickBird satellite, after geometrically corrected, offer to the user great applicability in several areas, including the mapping of land use by techniques of classification and update mapping. Besides the use of satellite images, it was proposed in this research the use of navigation *Garmin* GPS 12XL receiver, to realize the post-process of observables providing the three-dimensional positioning. The information collected with the navigation receiver was stored into Workabout Pro type collector, using the ASYNC and GAR2RNX programmes. With the purpose of aiding the process of acquiring cadastral real estate information concerning urban parcels, it was assessed the potential of orthorectificated QuickBird imagery to provide information about the positioning of urban parcels, and, thus, reducing the fieldwork for implementation of Cadastral mapping. Still, such images can't provide the position quality compatible for the Registration of urban parcels for purposes of taxation and /or registration, its use for purposes of initial register, to mapping and identifying the physical limits of one parcel to another, it is significantly feasible, once the costs for the conventional survey are still high, and almost unfeasible and unattractive mainly to the small size of town halls.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de um Sistema de Informação Territorial.	21
Figura 2 - Imagem Digital.	26
Figura 3 - (a) Processo de imageamento com sensor <i>pushbroom</i> e (b) esquema de obtenção de pares de imagens estereoscópicas.	27
Figura 4 - Ilustração da configuração da órbita do satélite QuickBird.	28
Figura 5 - Relação entre o tamanho do <i>pixel</i> no terreno e o ângulo de visada t.	30
Figura 6 - Influência da altura do plano de referência para a retificação.	31
Figura 7 - Deslocamento causado pela diferença de altura.	32
Figura 8 - Esquema ilustrativo do espaço objeto e imagem baseado no método de estimação dos RPCs independente do terreno.	39
Figura 9 - Processo de ortorretificação de imagens baseado no RFM.	43
Figura 10 - Esquema hierárquico entre dos elementos fotointerpretativos no processo de interpretação.	46
Figura 11 - Princípio do método de posicionamento relativo.	51
Figura 12 - Equipamentos para levantamento de campo utilizando notebook e coletora Workabout Pro.	56
Figura 13 - Apresentação das três áreas testes referentes à área de expansão urbana e vazios urbanos do Município de Presidente Prudente.	59
Figura 14 - Diagrama correspondente a fase inicial para tratamento geométrico das imagens QuickBird pancromáticas.	62
Figura 15 - Diagrama das etapas correspondentes ao mapeamento das glebas.	63
Figura 16 - Gráfico das discrepâncias entre as coordenadas obtidas pelos receptores GPS <i>Trimble 4600 LS</i> e de navegação <i>Garmin GPS12XL</i>	68
Figura 17 - Método de posicionamento relativo cinemático utilizando ambos os receptores.	69
Figura 18 - Modelo Digital do Terreno gerado a partir das curvas de nível adotando o Sistema de Referência WGS-84.	71
Figura 19 - Representação da determinação da altitude ortométrica através conhecimento da altitude geométrica do GPS e ondulação geoidal.	73
Figura 20 - Diagrama de etapas para análise da acurácia do Modelo Digital do Terreno utilizado para a ortorretificação.	73

Figura 21 - Gráfico de discrepâncias das coordenadas planimétricas UTM (E, N) utilizando a imagem QuickBird ortorretificada 2006.....	78
Figura 22 - Gráfico de discrepâncias das coordenadas planimétricas UTM (E, N) utilizando a imagem QuickBird ortorretificada 2007.....	79
Figura 23 - Gráfico de discrepâncias das coordenadas planimétricas UTM (E, N) utilizando a imagem QuickBird <i>Standard</i> 2006 não ortorretificada.	79
Figura 24 - Gráfico de discrepâncias das coordenadas planimétricas UTM (E, N) utilizando a imagem QuickBird <i>Standard</i> 2007 não ortorretificada.	80
Figura 25 - Chaves de interpretação para definição de limites de propriedades.....	84
Figura 26 - Representação do menor lote urbano definido por Lei.....	94
Figura 28 - Diagrama ilustrativo do processo de geração da imagem fusionada.....	103
Figura 29 - Composição coloridas das bandas 3, 2 e 1 antes e após a fusão.	104
Figura 30 - Sobreposição dos pontos coletados com receptores GPS sobre a imagem QuickBird fusionada.....	107
Figura 31 - Esquema hierárquico da classificação dos alvos de interesse.....	109
Figura 32 - Resultado da classificação dos obtida através da imagem QuickBird fusionada.....	110
Figura 33 - Disposição dos 33 pontos amostrais utilizados para a geração da imagem de verificação da qualidade temática.....	112
Figura 34 - Elementos amostrais que compõem a imagem de referência ou “verdade terrestre”.....	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificação técnica do satélite QuickBird.....	28
Tabela 2 - Especificação das imagens QuickBird	29
Tabela 3 - Tamanho aproximado do <i>pixel</i> no terreno em relação a direção e ângulo de visada.	30
Tabela 4 - Resumo dos níveis de processamento e respectivos EMQ e CE 90% para as imagens QuickBird.	33
Tabela 5 - Especificações técnicas das imagens QuickBird.	60
Tabela 6 - Precisões dos pontos.....	67
Tabela 7 - Estatísticas do MDT para a Área Teste 1.	75
Tabela 8 - Estatísticas do MDT para a Área Teste 2.	75
Tabela 9 - Medidas de acurácia do MDT para a Área Teste 3.....	75
Tabela 10 - Erro de localização causado pela diferença de altura do objeto ao MDT e o ângulo de visada	76
Tabela 11 - Pontos de controle e de verificação utilizados para geração das ortoimagens QuickBird imageadas em 2006 e 2007.	77
Tabela 12 - Resumo do EMQ obtidos para a correção geométrica das imagens Quickbird....	77
Tabela 13 - Análises das discrepâncias obtidas a partir da imagem Quickbird <i>Standard</i> e ortorretificada do ano de 2006.....	80
Tabela 14 - Análises das discrepâncias obtidas a partir da imagem Quickbird <i>Standard</i> e ortorretificada do ano de 2007.....	80
Tabela 15 - Análise de tendência da ortoimagem QuickBird referente a data de 2006.....	87
Tabela 16 - Resultado da análise de precisão da ortoimagem QuickBird 2006 para escala 1:10000.....	88
Tabela 17 - Resultado da análise de precisão da ortoimagem QuickBird 2006 para escala 1:5000.	88
Tabela 18 - Resultado da análise de precisão da ortoimagem QuickBird 2006 para escala 1:3000.	88
Tabela 19 - Resultado da análise de precisão da ortoimagem QuickBird 2006 para escala 1:2000.	88
Tabela 20 - Análise de tendência da ortoimagem QuickBird referente a data de 2007.....	89

Tabela 21 - Resultado da análise de precisão da ortoimagem QuickBird 2007 para escala 1:10000.....	89
Tabela 22 - Resultado da análise de precisão da ortoimagem QuickBird 2007 para escala 1:5000.	90
Tabela 23 - Resultado da análise de precisão da ortoimagem QuickBird 2007 para escala 1:3000.	90
Tabela 24 - Resultado da análise de precisão da ortoimagem QuickBird 2007 para escala 1:2000.	90
Tabela 25 - Análise do valor de área e propagação de erros – Gleba 1.....	98
Tabela 26 - Análise do valor de área e propagação de erros – Gleba 2.....	99
Tabela 27 - Análise do valor de área e propagação de erros – Gleba 3.....	100
Tabela 28 - Análise do valor de área e propagação de erros – Gleba 4.....	101
Tabela 29 - Desvio padrão e EMQ da imagem fusionada a partir da imagem QuickBird pancromática <i>Standard</i> 2006.....	105
Tabela 30 - Desvio padrão e EMQ da imagem fusionada a partir da imagem QuickBird ortorretificada 2006.	105
Tabela 31 - Desvio padrão e EMQ da imagem fusionada a partir da imagem QuickBird pancromática <i>Standard</i> 2007.....	106
Tabela 32 - Desvio padrão e EMQ da imagem fusionada a partir da imagem QuickBird ortorretificada 2007.	106
Tabela 33 - Matriz de confusão resultante da tabulação cruzada entre os dados de referência e os dados de classificação.....	114
Tabela 34 - Qualidade da classificação segundo intervalos do coeficiente de concordância <i>Kappa</i>	114
Tabela 36 - Indicadores de acurácia das classes mapeadas.....	118

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Considerações Iniciais.....	15
1.2 Objetivo	17
1.3 Justificativa.....	18
1.4 Conteúdo do Trabalho.....	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1 Sistema de Informação Territorial e Sistema Cadastral.....	20
2.1.1 A atual Situação do Cadastro no Brasil.....	23
2.2 Sensoriamento Remoto	25
2.2.1 Satélite QuickBird.....	26
2.2.2 Imagens QuickBird	29
2.3 Correção Geométrica	33
2.3.1 Modelo Rational Polynomial Coefficients (RPC)	35
2.3.2 Estimação dos Coeficientes RPCs	38
2.4 Modelo Digital do Terreno	40
2.5 Ortorectificação.....	42
2.6 Interpretação Visual de Imagens.....	43
2.7 Chave de Interpretação.....	47
2.7.1 Método Comparativo.....	48
2.7.2 Método Sistemático.....	48
2.8 Sistema de Posicionamento por Satélite.....	49
2.8.1 Posicionamento Relativo	50
2.8.2 Posicionamento Relativo Estático.....	52
2.8.3 Posicionamento Relativo Cinemático	53
2.9 Receptor GPS de Navegação.....	53
2.9.1 ASYNC E GAR2RNX.....	54
2.9.2 Sistema de Coleta de Dados Utilizando Receptor GPS de Navegação e Coletora <i>Workabout Pro</i>	56

3	ÁREA DE ESTUDO, MATERIAL E MÉTODO	57
3.1	Área de Estudo.....	57
3.1.2	Considerações à respeito do município de Presidente Prudente.....	57
3.1.2	Definição das Áreas de Estudo	58
3.2	Material	60
3.2.1	Dados de Sensoriamento Remoto e Dados Cartográficos.....	60
3.2.2	<i>Softwares</i> Utilizados.....	60
3.2.3	Equipamentos.....	61
3.3	Etapas da Metodologia Proposta.....	61
4	PRÉ-PROCESSAMENTO E CORREÇÃO GEOMÉTRICA DA IMAGEM	
	QUICKBIRD STANDARD PANCROMÁTICA.....	66
4.1	Posicionamento GPS.....	66
4.2	Geração do Modelo Digital do Terreno a partir de Curvas de Nível.....	70
4.3	Geração da Ortoimagem QuickBird	76
5	IDENTIFICAÇÃO VISUAL E CONTROLE DE QUALIDADE.....	82
5.1	Elementos Fotointerpretativos para Identificação de Limites de Propriedades	82
5.2	Análises Estatísticas para Avaliação de Tendência e Precisão dos Produtos	
	Cartográficos	85
5.2.1	Análise de Tendência	85
5.2.2	Análise da Precisão	86
5.2.3	Análises de Tendência e Precisão da Ortoimagem QuickBird.....	87
6	ANÁLISE DO ERRO OBTIDO EM ÁREA ATRAVÉS DO USO DA IMAGEM	
	QUICKBIRD ORTORRETIFICADA	91
6.1	Técnica de Propagação de Variância-Covariância aplicada no Cálculo da Área.....	91
6.2	Análise Posicional Utilizando a Técnica de Propagação de Variância-Covariância.....	92
6.2	Cálculo de Área e Propagação de Variância-Covariância das Glebas Urbanas.....	96

7 MAPEAMENTO TEMÁTICO UTILIZANDO A IMAGEM QUICKBIRD FUSIONADA	102
7.1 Geração das Imagens Fusionadas	102
7.2 Análise da Acurácia Posicional da Imagem Fusionada	104
7.2.1 Posicionamento Cinemático Sobre Vazios Urbanos.....	107
7.3 Classificação Supervisionada da Imagem Fusionada	108
7.4 Análise da Acurácia Temática da Classificação Supervisionada da Imagem Fusionada	110
7.4.1 Delineamento Amostral e Geração da Matriz de Confusão	111
7.4.2 Técnicas para a Estimativa da Exatidão da Classificação.....	115
7.4.2.1 Resultado da Exatidão da Classificação Supervisionada Obtida Através da Imagem QuickBird Fusionada.....	118
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	120
REFERÊNCIAS.....	123

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

Uma das ferramentas fundamentais em qualquer prefeitura, sendo ela de cidade de pequeno ou grande porte é a existência de um Cadastro Imobiliário, contendo as informações referentes à situação física e jurídica de todos os imóveis. A principal importância dessa ferramenta é fornecer subsídios à administração pública municipal, além de ser a principal fonte de dados para a tributação imobiliária.

Com o crescimento das cidades, há também o surgimento das áreas de expansão urbana, cuja característica principal é a localização intermediária entre os centros urbanos e as zonas rurais e, portanto se constituem tanto de propriedades rurais quanto de urbanas. Alguns desses imóveis situados na faixa de expansão urbana apresentam características bem diferentes dos destinados exclusivamente para o uso rural ou urbano, pois se tratam, na maioria das vezes, de propriedades maiores com características rurais, porém destinadas para fins de moradia ou lazer, as chamadas chácaras de recreio. Essas características também são encontradas em grandes áreas dentro do perímetro urbano, chamadas de vazios urbanos.

Um problema enfrentado pelas prefeituras brasileiras é o levantamento cadastral desses imóveis ou glebas, pois se tratam normalmente de propriedades não resultantes de loteamentos ou desmembramento, apresentando como características físicas principais o formato de polígono irregular e área bem maior do que a dos lotes urbanizados, (informações sobre a largura e o comprimento são suficientes). Estes fatores exigem esforços adicionais no momento do cadastramento imobiliário, e dessa forma muitas dessas glebas que formam os chamados vazios urbanos não são cadastradas fisicamente.

No sentido de reverter este quadro as imagens de alta resolução espacial se apresentam como fontes de informações, que descrevem a superfície física da Terra e suas diversidades. Deste modo a utilização de imagens obtidas por meio de sensores aerotransportados ou a bordo de plataformas orbitais, constituem uma opção atrativa na atualização da base cartográfica e cadastral, por serem mais econômicas do que as fotografias aéreas analógicas, e terem maior resolução temporal e espectral (NOVO, 1992).

Além da utilização de imagens de satélite de alta resolução, faz parte do escopo do trabalho a utilização de um receptor GPS (*Global Positioning System*) de navegação como principal instrumento para a execução do apoio de campo e determinação da posição dos vértices das propriedades, utilizando as observáveis GPS coletadas com programas desenvolvidos por Antonio Taberero Galán e estudados amplamente por Camargo, Redivo e Florentino (2003, 2004), e Guimarães e Camargo (2007), com os quais é possível realizar os posicionamentos absoluto, relativo ou diferencial e melhorar a acurácia do posicionamento a partir do pós-processamento das observações.

O apoio de campo utilizando o receptor GPS de navegação constitui-se de uma alternativa de baixo custo para a obtenção de pontos de apoios necessário para realização da correção geométrica da imagem, para posteriormente da mesma como auxílio na elaboração de uma base cartográfica precisa para prefeituras e municípios que não possuem grande disponibilidade de recursos financeiros.

Atualmente nenhuma Lei Federal foi estabelecida com relação à precisão posicional do mapeamento dos vértices dos imóveis pertencentes à zona urbana, a exemplo do recente decreto n. 4.449 de 30/10/2002, que regulamenta a lei n. 10.267/2001, o qual trata do georreferenciamento dos imóveis rurais e estabelece o intercâmbio das informações entre o INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) e os serviços notariais e registrais (CARNEIRO, 2001).

Porém, deve-se ressaltar que não foi interesse deste trabalho utilizar imagens de satélites para a definição de limites de propriedades urbanas ou rurais, para efeito de registro ou tributação, uma vez que tais imagens ainda não proporcionam a precisão posicional compatível com a precisão definida em lei, ou seja, 50 centímetros no caso das propriedades rurais. Aos imóveis urbanos nenhuma lei com relação a precisão posicional dos vértices foi estabelecido até o momento, apenas com relação ao valor da área para a fins de comercialização (compra/venda). O Código Civil descreve na Lei 10.406, de 10 de janeiro de 2002, Artigo 500 (§ 1º), que o erro máximo admissível para efetuar uma negociação não deve ultrapassar 5% do total da área considerada “verdadeira”.

Desta forma, neste trabalho analisou-se o potencial da imagem QuickBird, a partir da utilização do modelo generalizado do sensor (*Rational Polynomial Coefficients* (RPC)), incluindo pontos de controle e o Modelo Digital do Terreno, resultando em uma imagem geometricamente melhor do que a imagem QuickBird *Standard*, que foi corrigida geometricamente e radiometricamente, segundo o padrão estabelecido pela empresa

responsável. As imagens que foram empregadas para este estudo foram tomadas no ano de 2006 e 2007, e os resultados obtidos foram analisado aplicando um controle de qualidade, para avaliação da exatidão cartográfica.

Além da análise da qualidade da informação geométrica, realizou-se a avaliação da informação temática proporcionada pela aplicação da classificação supervisionada sobre a imagem fusionada (imagens multiespectrais + banda pancromática ortorretificada) para a realização do mapeamento temático dos vazios urbanos localizados dentro da malha urbana.

Visto que nenhuma Lei com relação a precisão posicional a ser alcançada na determinação dos vértices de um imóvel considerado urbano foi estabelecido, apenas com relação ao erro obtido em área, verificou-se através da técnica de propagação de variâncias o erro máximo obtido no mapeamento, utilizando principalmente coordenadas obtidas sobre a imagem QuickBird ortorretificada, objetivando diminuir o trabalho de campo para o mapeamento dessas grandes glebas consideradas urbanas, desde que atendam as exigências estabelecidas no Código Tributário do município em questão.

Para a análise da qualidade das informações cartográficas geradas com a imagem ortorretificada integrada aos dados pós-processados do receptor GPS de navegação, foram realizados levantamentos dos mesmos vértices limítrofes de algumas glebas utilizando um receptor GPS de simples frequência, destinado para fins Geodésicos, para efeito de comparação.

1.2 Objetivo

Avaliar uma metodologia de baixo custo para levantamentos cadastrais em áreas de expansão e vazios urbanos, utilizando imagens do satélite QuickBird de alta resolução espacial e dados provenientes do receptor GPS de navegação com processamento das observáveis, como principal instrumento para o cadastramento físico dessas glebas urbanas.

1.3 Justificativa

Os atuais métodos utilizados pelas prefeituras brasileiras para o cadastramento das glebas urbanas são baseados no levantamento topográfico dos vértices limítrofes, que se trata de uma atividade que demanda tempo e grandes recursos financeiros para as prefeituras. Desta forma muitas glebas localizadas dentro do perímetro urbano não são cadastradas fisicamente afetando o Cadastro Urbano e prejudicando principalmente o planejamento e gestão territorial local.

Este trabalho justifica-se pela possibilidade de contribuir com uma metodologia alternativa de mapeamento cadastral das glebas urbanas, que possa fornecer informações confiáveis (com certa precisão) para auxiliar as administrações municipais, levando em consideração a rapidez e o baixo custo para a execução desses levantamentos, através do emprego da imagem QuickBird ortorretificada e dos dados provenientes do receptor GPS de navegação.

1.4 Conteúdo do Trabalho

Visando atingir os objetivos propostos, organizou-se o presente trabalho em capítulos, os quais são descritos a seguir:

O Capítulo 1 apresenta uma breve introdução contextualizando o tema, o objetivo do trabalho, sua justificativa e o seu conteúdo;

O Capítulo 2 descreve uma breve fundamentação teórica necessária para o desenvolvimento do trabalho, englobando vários ramos como Cadastro, Sensoriamento Remoto, Fotogrametria e Posicionamento Geodésico.

O Capítulo 3 descreve algumas considerações com relação à área de expansão urbana e vazios urbanos do município de Presidente Prudente, e as áreas testes utilizadas nos experimentos, além do material e o procedimento metodológico adotados para o desenvolvimento deste trabalho.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados em relação ao tratamento geométrico aplicado na imagem QuickBird para a obtenção das ortoimagens referentes as datas de 2006 e 2007.

O Capítulo 5 aborda um breve estudos dos elementos fotointerpretativos que podem auxiliar no mapeamento de uma gleba a outra (Áreas Testes 1 e 2), bem como o controle de qualidade posicional planimétrico obtido pelo uso das ortoimagens.

No Capítulo 6 é apresentada a formulação matemática para o cálculo de área e propagação dos erros, bem como algumas análises para avaliar o potencial das imagens QuickBird ortorretificadas para a delimitação das glebas urbanas, de modo a atender a Lei 10.406 estabelecida no Código Civil brasileiro.

O Capítulo 7 apresenta o resultado da aplicação do método de fusão IHS para a realização da classificação supervisionada para o mapeamento dos vazios urbanos. Neste capítulo também foram analisados os dados por meio de uma visão geométrica (posicional) e radiométrica (temática).

O Capítulo 8 trata das principais conclusões e recomendações resultantes desta pesquisa.

E por fim, são apresentadas as referências utilizadas para a concretização deste trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão descritas os fundamentos teóricos necessários para o desenvolvimento do trabalho, englobando vários ramos como Cadastro, Sensoriamento Remoto, Fotogrametria e Posicionamento Geodésico.

2.1 Sistema de Informação Territorial e Sistema Cadastral

Historicamente, o homem possui a necessidade de delimitar o território, a parcela ou propriedade de uma tribo, família ou simplesmente um indivíduo, e várias são as formas de definir seus limites como por ocupação, por lutas entre tribos, pelo acordo mútuo ou por aplicação de leis (LARSSON, 1991).

Com o desenvolvimento de novas tecnologias e surgimento de modernos equipamentos de medições e posicionamento como estações totais, níveis eletrônicos, GPS e o GLONASS (*Global Navigation Satellite System*), associados às fotografias aéreas ou imagens de satélites, tornou-se possível a identificação física precisa de cada propriedade propiciando a reforma cadastral nos municípios.

Atualmente a Tecnologia da Informática fornece facilidades para o gerenciamento e acesso às informações, manipulação, armazenamento e segurança dos dados, a partir de *softwares* e *hardwares*. Uma vez que estes dados estando em formato digital, podem ser facilmente duplicados, diminuindo a possibilidade de perda de informação, além de proporcionar maior velocidade de disseminação dos dados.

A combinação de modernos equipamentos para medição e posicionamento para aquisição de dados espaciais associados aos computadores equipados com *hardwares* e *softwares* apropriados proporcionam a implantação de sistemas de informações nos municípios, que auxiliam na administração pública e planejamento para tomadas de decisões.

A definição de Sistema de Informação Territorial - SIT mais conhecida, adotada e recomendada pela Federação Internacional de Geômetras (*Fédération Internationale des Géomètres* - FIG) considera o SIT como sendo uma ferramenta para auxiliar o planejamento e tomada de decisão administrativa, econômica e legal, é constituída de base de dados contendo dados espaciais referentes a uma área definida, associada a

procedimentos e técnicas para a coleta sistemática de dados, atualizações, processamento e distribuição de dados, sendo que tanto a base quanto os dados devem estar no mesmo sistema de referência para facilitar a comunicação com outros dados relativos (LARSSON, 1991). A Figura 1 apresenta o esquema de um SIT definido por Larsson (1991).

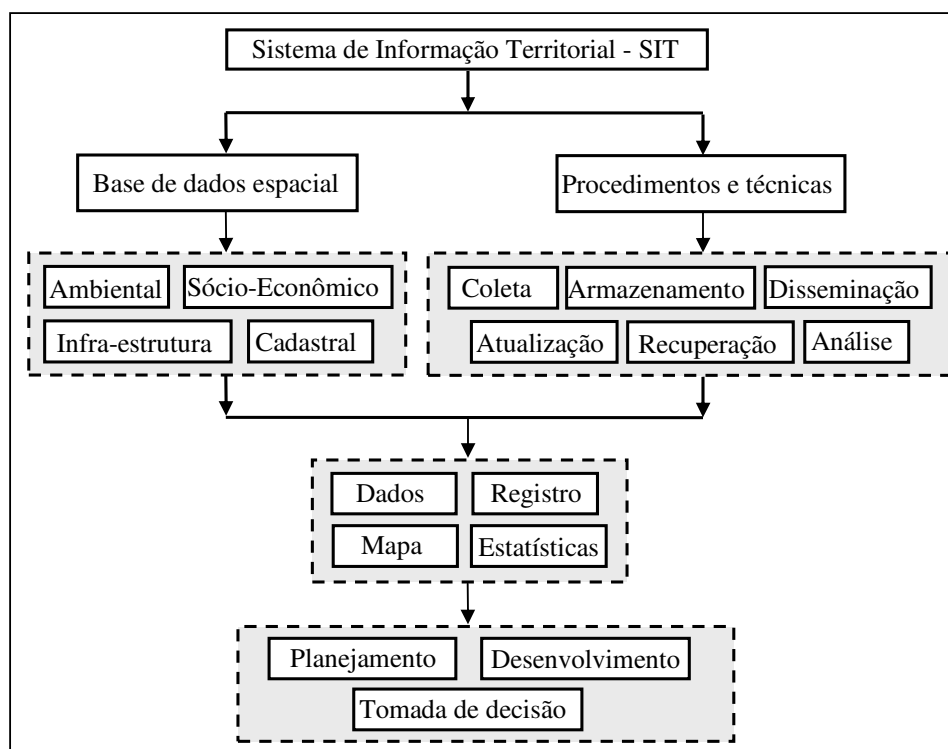


Figura 1 - Esquema de um Sistema de Informação Territorial.
Fonte: Adaptado de Larsson (1991).

Para Dale e Mclaughlin (1990) *apud* Carneiro (2003) cada Sistema de Informação Territorial é definido em função da sua finalidade podendo ser planejado para um específico fim, como por exemplo, um Sistema de Informações Cadastrais, também conhecido como Cadastro, cujo objetivo é apresentar características referentes à realidade física das parcelas territoriais, ou seja, informações sobre direitos, uso e valor das parcelas.

Segundo Henssen (2005) e Larsson (1991), o Cadastro é um inventário público metodicamente organizado, baseado nos dados referentes à propriedade imóvel de um município ou distrito, constando dos limites de propriedades e dados do proprietário. Tais descrições devem ser obtidas de maneira precisa para que conjuntamente com o registro possa transmitir informações corretas de cada propriedade com relação à natureza, tamanho, restrições e direitos legais associados com a parcela, e assim fornecer dados suficientes para a definição da localização e valor relativos aos imóveis de maneira confiável, precisa e justa.

O Cadastro e o registro da parcela foram inicialmente estabelecidos para acolher dois propósitos principais, o primeiro refere-se ao registro fiscal para atender o setor público, servindo como base para cobranças de impostos e controle do uso e distribuição de direitos da terra, o segundo é dito registro legal ou jurídico que trata da legalidade da propriedade e direitos referentes à parcela (LARSSON 1991). Um terceiro propósito de natureza administrativa, surgiu com a necessidade de o Cadastro proporcionar informações relevantes para o gerenciamento sustentável de recursos terrestres (avaliação de imóveis, contratos de compra e venda, determinação de indicadores socioeconômicos, ações e políticas territoriais em geral) e de interesse ambiental (Österberg, 2001).

Com o intuito de reformular e atualizar os sistemas cadastrais existentes, com base nas necessidades e interesses que um Cadastro deve atender, Kaufmann (2002) se dedicou em estudar as principais características organizacionais e legais, níveis de planejamento e controle, aspectos “multicadastrais” e integração entre setores públicos e privados, verificando suas deficiências e vantagens, de modo, que os futuros sistemas cadastrais (Cadastro 2014) devem respeitar.

Os princípios do Cadastro 2014 definidos por Henssen (2005), Kaufmann e Steudler (1998) se baseiam em seis declarações que, de forma resumida, afirmam que, no futuro, o Cadastro mostrará a situação legal completa do território (incluindo o direito público e as restrições); acabará a separação entre os registros gráficos (Cartografia) e os alfanuméricos (atributos); a modelagem cartográfica auxiliará a Cartografia tradicional; todo o sistema de informação será digital; haverá uma grande participação do setor privado no Cadastro (privatização parcial ou inclusive total); dados serão vendidos a usuários com os quais será possível fazer novos investimentos, procurando-se a melhora do sistema e, ou, a atualização.

De acordo com Carneiro (2003), um Sistema Cadastral completo e eficiente permite a interligação entre informações cadastrais e registrais, ou seja, a inscrição e descrição de cada parcela territorial no registro são realizadas com base em um levantamento oficial da realidade física do território, este modelo é adotado em alguns países, como Alemanha e Suíça, e estão sendo adaptados em outros países como França, Portugal e Itália que adotaram um sistema em vias de interligação, neste modelo a integração das informações físicas, jurídicas e tributárias ocorrem diretamente no Cadastro físico dos municípios.

Em busca desta tendência, países da América Latina, como a Argentina, Costa Rica, Panamá e El Salvador, estão trabalhando para promover a interligação entre o

Sistema de Cadastro e Registro, com base em sua realidade, uma vez que, ainda não existe um modelo único que possa ser aplicado a todas as realidades (CARNEIRO, 2003).

2.1.1 A atual Situação do Cadastro no Brasil

A maioria das cidades brasileiras possui um sistema cadastral cujas informações componentes servem, quase que exclusivamente, para a tributação e mercado de imóveis. Além disso, nota-se que essas informações não são atualizadas sistematicamente, fato este que causa prejuízos à arrecadação municipal e à justiça fiscal (AMORIM; SOUZA; DALAQUA, 2004).

Atualmente os Sistemas Cadastrais Urbanos podem ser diferentes para cada município, pois ainda não existe um Modelo Cadastral Padrão a ser seguido, uma vez que os Sistemas Cadastrais foram se adaptando aos interesses e finalidades que o município ou distrito necessita, considerando suas características e particularidades.

A implantação de um Sistema Cadastral não é uma tarefa simples, pois depende de vários fatores econômicos, administrativos e políticos, para que todas as informações referentes ao imóvel possam ser utilizadas corretamente para auxiliar os municípios no que se refere ao ordenamento territorial e tributação dos mesmos.

A definição de imóveis urbanos e rurais fez com que surgissem no Brasil os Sistemas de Cadastro Urbano e Rural separadamente, e conseqüentemente, leis e normas específicas foram elaboradas pra cada Sistema Cadastral, sendo que, a administração das informações referentes ao Cadastro Urbano e Rural ficam a cargo do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), e das prefeituras municipais, respectivamente. A situação jurídica dos imóveis, sejam eles rurais ou urbanos, é de responsabilidade dos serviços registrais ou cartórios de registros de imóveis.

Para os imóveis urbanos podem ser utilizadas as Normas Brasileiras de Rede de Referência Cadastral Municipal (NBR 14166 – Agosto de 1998) em conjunto as Normas Brasileiras de Levantamento Topográfico (NBR 13133 – Maio de 1994), para auxiliar na elaboração do Sistema Cadastral Urbano. Já para os imóveis rurais, em agosto de 2001, foi publicada a Lei 10.267/2001 que trata do georreferenciamento dos limites das propriedades, que estabelece através da portaria nº 954, de 13 de novembro de 2002, que cada vértice deve ter precisão posicional melhor que 0,50 metros. A acurácia também deve ser

melhor que +/- 0,50 metros, ao grau de significância de 1σ (68,26%), conforme definida na Norma Técnica do INCRA (INCRA, 2003).

Dentre as várias mudanças, com o estabelecimento da Lei 10.267/2001 duas alterações importantes podem ser citadas. A primeira foi a criação de um novo Sistema Público de Registro de Terras e Cadastro Nacional de Imóveis Rurais (CNIR), tendo uma base comum de informações administrada pela Secretaria da Receita Federal e pelo INCRA. A segunda inovação importante foi a integração entre Cadastro e Registro de Imóveis das áreas rurais, adotando um código único (INCRA, 2003).

Atualmente as prefeituras brasileiras não possuem um Sistema Cadastral Urbano completo, pois com o aparecimento das áreas de transição entre o meio urbano e rural, comumente chamado de áreas de expansão urbana, surgiram às populares glebas que dificilmente são cadastradas.

A falta de cadastramento dessas glebas explica-se pela dificuldade em executar levantamentos dos vértices da propriedade, ao contrário dos lotes urbanos convencionais que podem ser medidos diretamente sobre o terreno utilizando basicamente uma trena.

Esse problema também é encontrado na área urbana dos municípios, os chamados vazios urbanos, cuja definição é bastante ampla e estudada por vários autores como Magalhães (2005), Clichevsky (2000) e Oliveira (2000), envolvendo desde terrenos vagos, terras especulativas, terras devolutas, terrenos subaproveitados, entre outras possibilidades, estes imóveis podem apresentar a forma de polígono regular ou irregular, e de tamanhos variados. Conseqüentemente, por falta do cadastramento, muitas vezes esses imóveis ficam fora do Sistema Cadastral Urbano.

Outros problemas mais comuns e freqüentemente encontrados nas prefeituras, citados por Antunes (2004) são: plantas cadastrais desatualizadas; falta de recursos humanos nas prefeituras (Cartógrafos, Agrimensores, Geógrafos, Arquitetos) que possam gerenciar as informações; imprecisão da posição física dos imóveis ou incerteza dos limites que os configuram; falta de integração entre o registro e o cadastro físico e falta de investimento para o levantamento e atualização Cadastral.

Pelas considerações anteriores, verifica-se a necessidade do desenvolvimento de novas técnicas para agilizar o processo de cadastramento das propriedades, que seja, de baixo custo e que proporcione dados e informações relevantes para auxiliar na tomada de decisão e planejamento municipal.

2.2 Sensoriamento Remoto

De acordo com Lillesand, Kiefer e Chipman (2004) e Novo (1992), Sensoriamento Remoto é definido como a ciência e a arte de obtenção de informação de um objeto, área ou fenômeno da superfície terrestre, através da análise dos dados adquiridos por meio de sensores ou dispositivos, sem que haja contato direto com os mesmos.

Com o desenvolvimento da tecnologia por Sensoriamento Remoto, utilizando sensores e dispositivos associados com aeronaves e/ou satélite artificial facilitou a aquisição de dados ou informações da superfície terrestre, tarefa que antes só podiam ser obtidos por observações e medições locais diretas, o que era demorado e oneroso (LOCH; KIRCHNER, 2001).

Atualmente com a grande inovação tecnológica existem vários satélites equipados com diferentes sensores que capturam e registram a superfície da Terra, dispondo-se de alta resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal, que incentivam a comunidade cartográfica para a realização de pesquisas voltadas à elaboração e atualização de bases cartográficas, especialmente em áreas de alta densidade demográfica.

Outras aplicações como monitoramento ambiental, detecção de mudança climática, agricultura, exploração de recursos renováveis e não renováveis, meteorologia, reconhecimento e estratégia militar podem ser executados utilizando imagens de satélites. Para cada aplicação específica deve-se escolher o sensor que produz a imagem mais apropriada, de modo a obter resultados satisfatórios e diminuir os custos.

A imagem digital é o principal produto obtido por Sensoriamento Remoto, e é descrita por Centeno (2004) como sendo uma matriz composta de números digitais que armazenam valores relativos à reflectância e emitância dos objetos presentes na superfície terrestre. Esta energia eletromagnética registrada pelo sensor é transformada em número digital através do processo de conversão A/D (analógico/digital). A Figura 2 ilustra uma imagem digital.

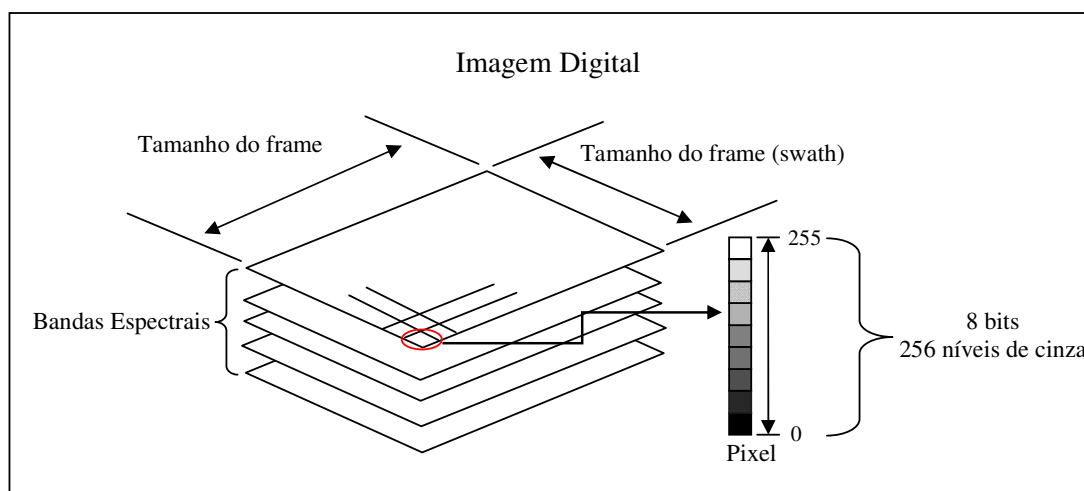


Figura 2 - Imagem Digital.
 FONTE: Adaptada de Richards (1993).

As imagens digitais obtidas por satélites de Sensoriamento Remoto registram informações no comprimento de ondas do visível ao infravermelho próximo, médio e alguns satélites como o LANDSAT e o CBERS captam informações no comprimento de onda do infravermelho termal. Tais imagens são conhecidas como multiespectrais, pois descrevem informações em vários intervalos do espectro eletromagnético.

Segundo Richards (1993), a partir das imagens em formato digital é possível extrair informação do tipo qualitativa e quantitativa, a análise qualitativa envolve a interpretação e análise humana, ou seja, é baseada no conhecimento adquirido sobre o objeto de estudo. A análise quantitativa é baseada no uso do computador e softwares específicos para análise individual dos *pixels* em função dos seus atributos, com o objetivo de categorizar os mesmos.

As imagens de alta resolução espacial QuickBird, atualmente apresentam grande potencial para o mapeamento terrestre, devido à sua alta resolução geométrica que proporciona análises qualitativas e quantitativas.

2.2.1 Satélite QuickBird

O QuickBird é o primeiro satélite comercial de Sensoriamento Remoto a produzir imagens com resolução espacial centimétrica, foi concebido pelas empresas

DigitalGlobe, Ball Aerospace & Technologies Corp., Kodak e Fokker Space, e lançado pelo veículo lançador *Delta II* da base aérea de *Vandenberg*, na Califórnia em outubro de 2001 (KUX; PINHEIRO, 2005).

A empresa *Ball Aerospace & Technologies* foi responsável pela construção do telescópio do sensor do satélite com suas óticas de espelho, bem como pelo veículo transportador, enquanto que o plano focal incluindo o CCD (*Charge Coupled Device*) linear, instalações de compressão de imagem e eletrônica associada foram fornecidas pela *Kodak* (PINHEIRO, 2003).

O satélite *QuickBird* possui um FOV (*Field of View*) de 21° e distância focal de 9 metros, operando com sensores do tipo CCD, que realizam varredura linear (*pushbroom linear array*) flexíveis para visadas *off-nadir* até 30° , ao longo do terreno (*along-track*), possibilitando obter pares de imagens com estereoscopia, com condições de iluminação e geometria do satélite igual para as duas imagens (POON; SMITH; FRASER, 2006).

A Figura 3 apresenta (a) o processo de imageamento do sensor *pushbroom* com FOV de 21° e GSD (*Ground Sample Distance*) de 0,61 m. (b) esquema de obtenção de pares de imagens em estéreo.

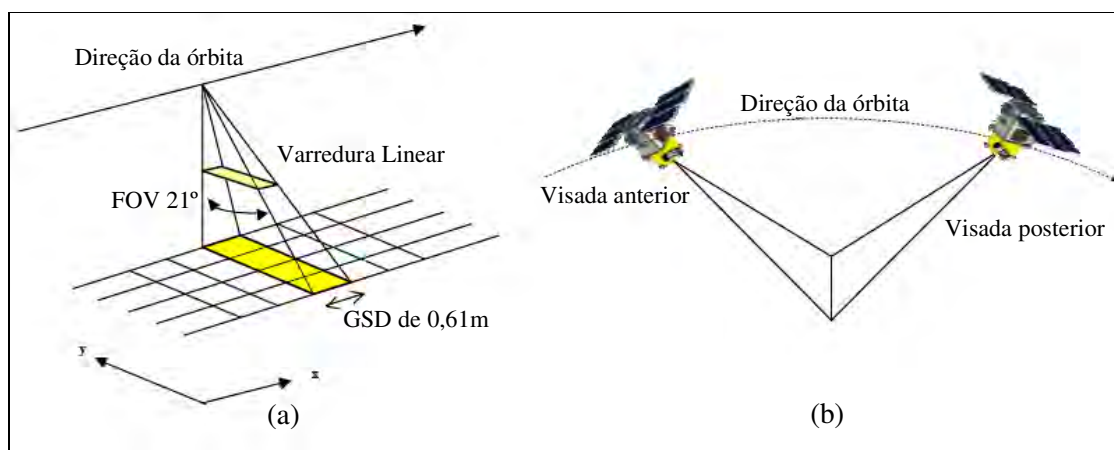


Figura 3 - (a) Processo de imageamento com sensor *pushbroom* e (b) esquema de obtenção de pares de imagens estereoscópicas.

Fonte: Adaptado de Poon, Smith e Fraser (2006).

A Tabela 1 apresenta as principais características e especificações técnicas do satélite *QuickBird*.

Tabela1 - Especificação técnica do satélite QuickBird.

Características do satélite QuickBird	
Data de lançamento	Outubro de 2001
Veículo de lançamento	<i>Boeing Delta II</i>
Local de lançamento	<i>Vandenberg Air Force Base, Califórnia</i>
Capacidade de armazenamento de dados	128 Gbytes
Órbita	Heliossíncrona / Sol - síncrona
Altitude da órbita	450 km
Inclinação da órbita	98°
Tempo de duração da órbita	93,4 min
Velocidade	7,1 km/seg.
Horário de passagem pelo Equador	10:30 h
Período de revisita	Máximo 3,5 dias
Largura nominal da faixa imageada	16,5 Km – <i>nadir</i> e 20,8 Km – 25° <i>off nadir</i>
Resolução radiométrica	11 bits
Resolução Temporal	1 a 3,5 dias, dependendo da latitude
Formatos de dados disponíveis	GEOTIFF 1.0, NITF 2.0 e 2.1

FONTE: Adaptado DigitalGlobe (2006).

De acordo com a Digitalglobe (2006), este satélite é capaz de obter dados 75 milhões de quilômetros quadrados de dados de imageamento anualmente. A Figura 4 ilustra a configuração da posição da órbita em que o satélite QuickBird se encontra.

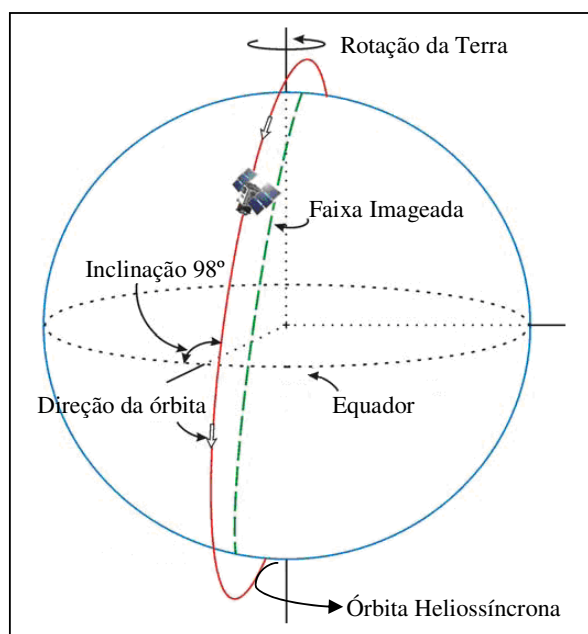


Figura 4 - Ilustração da configuração da órbita do satélite QuickBird.
FONTE: Pinheiro (2003).

2.2.2 Imagens QuickBird

Este satélite possui sensores que fornecem imagens pancromáticas e multiespectrais comerciais de alta resolução da superfície terrestre, que auxiliam em vários setores como: meio ambiente, agricultura, planejamento urbano, saneamento, defesa e gerenciamento e avaliação de áreas de risco.

As imagens pancromáticas apresentam resolução espacial de 0,61 a 0,72 metros que proporciona ao usuário maior visibilidade na interpretação visual dos objetos presentes na superfície terrestre.

Enquanto que as imagens multiespectrais cobrem o intervalo do espectro visível e infravermelho próximo, sendo idéias para aplicações que exigem análises multiespectrais, a resolução espacial varia de 2,44 a 2,88 metros (DIGITAL GLOBE, 2006).

A Tabela 2 apresenta um resumo das especificações técnicas das imagens obtidas a partir do sensor QuickBird.

Tabela 2 - Especificação das imagens QuickBird

Imagens	Bandas Espectrais	Resolução espectral	Resolução Espacial
Pancromática	Pancromático	450-900 nm	0,61 m (<i>nadir</i>) 0,72 m (<i>25° off nadir</i>)
Multiespectral	Azul	450-520 nm	2,44 m (<i>nadir</i>) 2,88 m (<i>25° off nadir</i>)
	Verde	520-600 nm	
	Vermelho	630-690 nm	
	IVP	760-900 nm	

FONTE: Adaptado DigitalGlobe (2006).

A resolução das imagens proporcionadas por este sensor depende do ângulo de visada de imageamento, podendo ser *nadir* ou *off nadir*. Quando o ângulo de visada *off nadir* aumenta há uma degradação da resolução espacial da imagem, e conseqüentemente aumento da área imageada, permitindo ao usuário obter cenas do terreno com maior frequência e com estereoscopia, tanto para as imagens pancromáticas quanto para multiespectrais.

O tamanho equivalente de um *pixel* no terreno (GSD) nas imagens QuickBird e Ikonos (operado pela *Space Imaging*), possui uma relação de dependência com o ângulo (t), cuja formulação é dada por Jacobsen (2002).

$$P_o = \frac{P}{\cos(t)} \quad (1)$$

$$P_v = \frac{P}{\cos(t)^2} \quad (2)$$

sabendo que:

P : tamanho do *pixel* no terreno;

P_o : tamanho do *pixel* na direção da órbita;

P_v : tamanho do *pixel* na direção do ângulo de vista

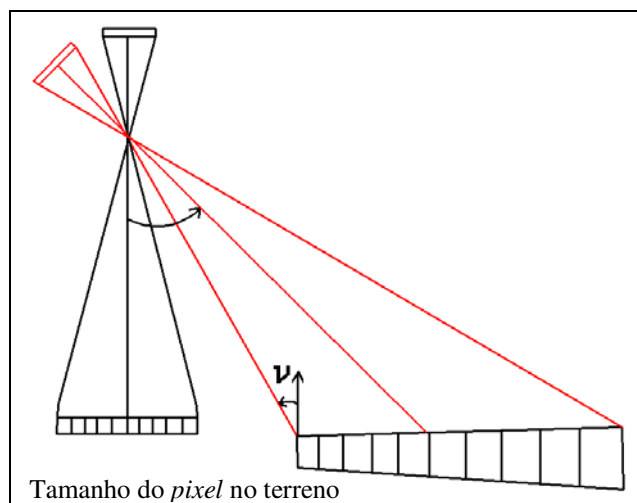


Figura 5 - Relação entre o tamanho do *pixel* no terreno e o ângulo de visada v .
 FONTE: Adaptada de Jacobsen (2002).

Na Tabela 3 observa-se o tamanho do *pixel* imageado no terreno em função do ângulo *nadir* local, utilizando as Equações 1 e 2 para as imagens QuickBird pancromática e multiespectral.

Tabela 3 - Tamanho aproximado do *pixel* no terreno em relação a direção e ângulo de visada.

Imagem	Ângulo	0°	10°	20°	25°	30°
Pancromática	Direção da órbita	0,61 m	0,62 m	0,65 m	0,67 m	0,70 m
	Direção do ângulo de vista	0,61 m	0,63 m	0,69 m	0,74 m	0,81 m
Multiespectral	Direção da órbita	2,44 m	2,48 m	2,60 m	2,69 m	2,81 m
	Direção do ângulo de vista	2,44 m	2,52 m	2,76 m	2,97 m	3,25 m

As conseqüências são diferentes para cada direção, ao longo da direção da órbita a relação de dependência é limitada gerando uma super-amostragem e reduzindo o contraste, enquanto que na direção do ângulo de visada o tamanho do *pixel* varia

significativamente, para um ângulo de 45° *off nadir* é duas vezes maior que o tamanho do *pixel* na direção *nadir* (JACOBSEN, 2002).

Há basicamente três níveis de tratamento, que a DigitalGlobe (2006) fornece: a Imagem Básica (*Basic Imagery*), a Imagem Padrão (*Standard Imagery*) e a Ortoimagem (*Orthorectified Imagery*).

A Imagem Básica (*Basic Imagery*) apresenta apenas mínimas correções em função da correção radiométrica e do sensor, oferecendo ao usuário pleno controle para a correção geométrica da imagem. A correção radiométrica consiste na remoção de *pixels* que possuem valores discrepantes devido à variação entre os *pixels* vizinhos (resposta radiométrica relativa entre os detectores), preenchimento de valores nulos na imagem que não foram registrados no momento do imageamento (falha dos detectores), e conversão para o valor radiométrico absoluto. Além da correção radiométrica, é feita a correção da geometria interna dos detectores, distorções ópticas e distorções do *scanner*.

A Imagem Padrão (*Standard Imagery*) é indicada para usuários cujas aplicações necessitam de informações com relação à localização geográfica e projeção cartográfica. As correções aplicadas nas imagens do tipo *Standard* são basicamente as mesmas utilizadas para a imagem básica, porém acrescentada da correção geométrica em função da altitude e posição da órbita, rotação e curvatura da Terra e distorção panorâmica.

Neste produto é aplicado o processo de retificação utilizando um plano com altura constante em relação ao elipsóide, apenas para normalizar as distorções decorrentes do relevo, e desta forma a imagem não pode ser considerada ortorretificada (Figura 6).

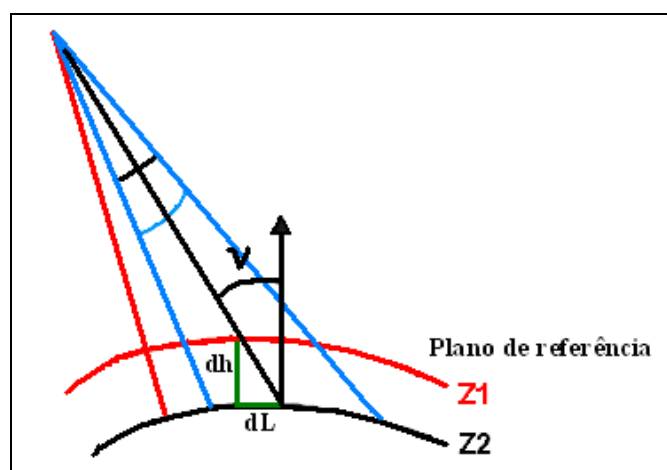


Figura 6 - Influência da altura do plano de referência para a retificação.
 FONTE: Adaptada de Jacobsen (2002).

Segundo Jacobsen (2002) o deslocamento na posição de um objeto (erro na localização) é causado pela diferença de altura do objeto ao plano de referência e o ângulo de visada, como formulado a seguir:

$$dL = dh * \tan v \quad (3)$$

sendo:

dL : erro na localização;

dh : diferença de altura entre o plano de referência;

v : ângulo de visada.

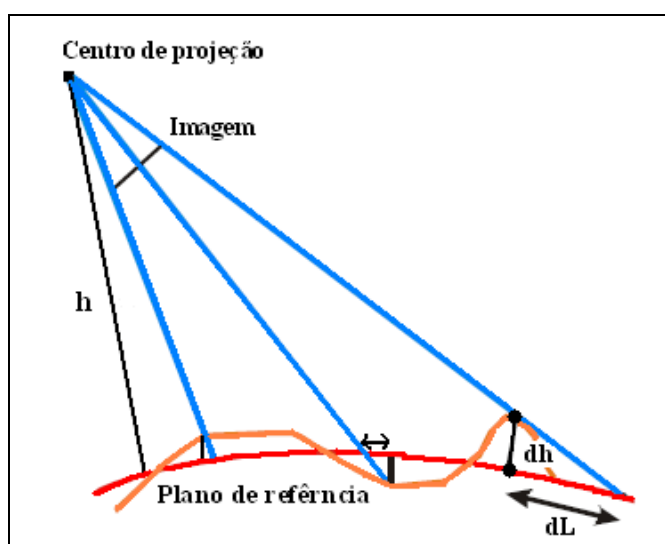


Figura 7 - Deslocamento causado pela diferença de altura.
FONTE: Adaptada de Jacobsen (2002).

A Imagem Ortorretificada (*Orthorectified Imagery*) é um produto com um vasto campo de aplicações, pode ser utilizado para mapeamento, suporte de banco de dados SIG (Sistema de Informações Geográficas), detecção de alterações e interpretação visual, além de outras aplicações que necessitem de maior qualidade geométrica. Estas imagens passam por diversas etapas de processamentos que constitui da correção radiométrica, geométrica e do sensor, e mudança de projeção e *datum* (DIGITALGLOBE, 2006).

Para a ortorretificação da imagem é necessário a utilização de um Modelo Digital do Terreno (MDT) e/ou pontos de controle para remover a deslocamento da imagem devido à inclinação e efeito do relevo. A qualidade da ortoimagem vai depender da aplicação e escala de mapeamento requerido pelo usuário (DIGITALGLOBE, 2006).

A Tabela 4 apresenta um resumo dos níveis de processamento e respectivos EMQ (Erro Médio Quadrático) e CE 90% (Erro Circular, com 90% de certeza) para cada tipo de imagem QuickBird.

Tabela 4 - Resumo dos níveis de processamento e respectivos EMQ e CE 90% para as imagens QuickBird.

Produto	Níveis de processamento	Acurácia absoluta	
		CE 90% (metros)	EMQ (metros)
Básica (<i>Basic</i>)	Correções radiométrica e do sensor.	23*	14*
Padrão (<i>Standard</i>)	Correções radiométrica, geométricas e do sensor, e mapeamento para uma projeção cartográfica	23**	14**
Ortho 1:50000	Correções radiométrica, geométricas e do sensor, mapeamento para uma projeção cartográfica e ortorretificação.	25,4	15,4
Ortho 1:12000		10,2	6,2
Ortho 1:5000		4,23	2,6
Ortho 1:4800		4,1	2,5
Custom Ortho		Variável***	Variável***
DG DOQQ		10,2	6,2

* Utilizando arquivo de dados suporte da imagem e um modelo digital de elevação, excluindo deslocamento devido ao relevo, sensor e geometria de visada.

** Excluindo deslocamento devido ao relevo, e geometria de visada.

*** A acurácia é dependente da qualidade dos dados de suporte fornecida pelo cliente.

FONTE: Adaptado DigitalGlobe (2006).

2.3 Correção Geométrica

As imagens brutas geralmente apresentam significativas distorções geométricas que devem ser corrigidas para que possam ser utilizadas em varias aplicações, que incluem, mapeamento do uso do solo, mosaicagem, estudos multitemporais, além de aplicações cartográficas como, por exemplo, um mapa base em um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Para Stein, Meer e Gorte (1999) o erro geométrico das imagens orbitais são causadas principalmente devido ao movimento da plataforma, curvatura da Terra e do terreno imageado, inclinação do eixo de rotação da Terra, e diferentes forças centrífugas que afetam o movimento da plataforma, além dos erros provenientes do próprio sistema de Sensoriamento

Remoto incluindo distorções sistemáticas causadas pela distribuição sequencial de cada detector e imageamento não-linear.

Desta forma a distorção geométrica varia consideravelmente dependendo do tipo de plataforma (posição, velocidade, altitude), sensor (ângulos de visada, efeitos panorâmicos) e da Terra (elipsóide e topografia), conseqüentemente para cada sistema de aquisição de imagem são produzidas distorções geométricas diferentes. Essas distorções podem ser minimizadas através de modelos matemáticos que representam o relacionamento geométrico entre o espaço imagem e o espaço objeto (TAO; HU, 2001).

Existem basicamente dois tipos de modelos de correção geométricos: o modelo físico do sensor (*Physical Sensor Model*) ou modelo rigoroso e modelo generalizado do sensor (*Generalized Sensor Models*), também conhecido como modelo não paramétrico.

No caso do modelo físico do sensor, é necessário obter informações com relação ao sensor e seus parâmetros de orientação interior e exterior, e posição para reconstruir o processo de imageamento físico rigorosamente, desta forma para cada tipo de sensor (*frame, pushbroom, whiskbroom, panorâmico, etc.*) é desenvolvido um modelo de sensor diferente. Os modelos físicos clássicos empregados em Fotogrametria são comumente modelados através da condição de colinearidade e equações de correspondências (CROITORU et al., 2004).

Os modelos de sensor generalizados independem do tipo de sensor e plataforma utilizada no imageamento, e seus modelos são geralmente são baseados em polinômios, como por exemplo, os Modelos Polinomiais 2D e 3D e o Modelo Função Racional (*Rational Function Model - RFM*). Assim, este modelo pode ser aplicado a diferentes tipos de sensores, devido a dispensabilidade do conhecimento da geometria do sensor.

Nesta aproximação não paramétrica usualmente é utilizado pontos de controles (PCs) obtidos por métodos baseados em sistemas de posicionamento por satélites (GPS, GLONASS) ou por métodos topográficos ou ainda obtidos diretamente sobre um mapa, desde que sejam visíveis na imagem, este modelo é utilizado para correção geométrica da imagem, e seu desempenho depende da quantidade e qualidade do PCs, o que não se trata de uma tarefa fácil, quando se tratam de regiões caracterizados por feições homogêneas, como os oceanos e as florestas. Além da necessidade de PCs bem definidos e acurados, a informação com relação à topografia do terreno também é requerida para minimizar os efeitos da distorção causada pelo relevo.

Com a popularização das imagens de alta resolução espacial, a utilização do modelo baseados em polinômios racionais está sendo amplamente utilizado para a correção geométrica, através do emprego dos coeficientes polinomiais fornecidos pelas empresas, conseqüentemente, os parâmetros relacionados ao modelo físico do sensor não são disponibilizados (ARAKI, 2005).

2.3.1 Modelo Rational Polynomial Coefficients (RPC)

Recentemente o *Rational Function Model* (RFM) ganhou considerável interesse pela comunidade científica de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, pois algumas empresas como a *Space Imaging* (responsável pelo satélite Ikonos) e a *DigitalGlobe* (satélite QuickBird) adotaram este modelo para fornecer os coeficientes RPCs (*Rational Polynomial Coefficients*) para orientação e manipulação de suas imagens. O RFM está sendo empregado como um modelo rigoroso alternativo para manipulação das imagens orbitais de alta resolução, (HU; TAO; CROITORU, 2004).

O termo modelo RPC é um caso específico do RFM desenvolvido na forma direta de funções polinomiais de terceira ordem e usualmente resolvido através do método independente do terreno (*terrain-independent solution*) (HU; TAO; CROITORU, 2004).

Segundo Fraser, Dial e Grodecki (2006) o modelo RFM relaciona as coordenadas no espaço objeto (φ, λ, h) com as coordenadas no espaço imagem (linha (l), coluna (s)) ou vice e versa, como no caso do modelo físico do sensor, porém a partir da função racional que são basicamente razões polinomiais.

Para a transformação de coordenadas do espaço objeto-imagem em um sistema de referência geográfico, a razão dos polinômios de terceira ordem normalmente relaciona coordenadas (linha (l_n), coluna (s_n)) normalizadas com as coordenadas latitude, longitude e altura elipsoidal (X, Y, Z) normalizadas, como apresentadas nas Equações 7 e 8 (FRASER; DIAL; GRODECKI, 2006).

$$l = l_n l_s + l_0 \quad (4)$$

$$s = s_n s_s + s_0 \quad (5)$$

$$X_n = \frac{\varphi - \varphi_o}{\varphi_s}; Y_n = \frac{\lambda - \lambda_o}{\lambda_s}; Z_n = \frac{h - h_o}{h_s} \quad (6)$$

$$l_n = \frac{p_1(X_n, Y_n, Z_n)}{p_2(X_n, Y_n, Z_n)} = \frac{a^T u}{b^T u} \quad (7)$$

$$s_n = \frac{p_3(X_n, Y_n, Z_n)}{p_4(X_n, Y_n, Z_n)} = \frac{c^T u}{d^T u} \quad (8)$$

sendo,

(l, s) : são as coordenadas linha e coluna dos *pixels* no espaço imagem;

(l_s, s_s) e (l_o, s_o) : são os termos de escala e *offset*;

(φ, λ, h) : representam a latitude geodésica, longitude geodésica e altura elipsoidal;

$(\varphi_s, \lambda_s, h_s)$ e $(\varphi_o, \lambda_o, h_o)$: são os correspondentes termos de escala e *offset*;

(X_n, Y_n, Z_n) : são os valores das coordenadas normalizadas dos pontos no espaço objeto ou de terreno;

(l_n, s_n) : são as coordenadas linhas e colunas normalizadas dos *pixels* no espaço imagem.

Para o modelo RFM de terceira ordem, o numerador e denominador consideram 20 termos polinomiais. Reescrevendo cada polinômio em função de seus coeficientes temos:

para l_n ,

$$\begin{aligned} p_1(X_n, Y_n, Z_n) = & a_1 + a_2 Y_n + a_3 X_n + a_4 Z_n + a_5 Y_n X_n + a_6 Y_n Z_n \\ & + a_7 X_n Z_n + a_8 Y_n^2 + a_9 X_n^2 + a_{10} Z_n^2 + a_{11} X_n Y_n Z_n + a_{12} Y_n^3 + a_{13} Y_n X_n^2 \\ & + a_{14} Y_n Z_n^2 + a_{15} Y_n^2 X_n + a_{16} X_n^3 + a_{17} X_n Z_n^2 + a_{18} Y_n^2 Z_n + a_{19} X_n^2 Z_n + a_{20} Z_n^3 = a^T u \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} p_2(X_n, Y_n, Z_n) = & b_1 + b_2 Y_n + b_3 X_n + b_4 Z_n + b_5 Y_n X_n + b_6 Y_n Z_n \\ & + b_7 X_n Z_n + b_8 Y_n^2 + b_9 X_n^2 + b_{10} Z_n^2 + b_{11} X_n Y_n Z_n + b_{12} Y_n^3 + b_{13} Y_n X_n^2 \\ & + b_{14} Y_n Z_n^2 + b_{15} Y_n^2 X_n + b_{16} X_n^3 + b_{17} X_n Z_n^2 + b_{18} Y_n^2 Z_n + b_{19} X_n^2 Z_n + b_{20} Z_n^3 = d^T u \end{aligned} \quad (10)$$

reescrevendo na forma matricial,

$$u = \begin{bmatrix} 1 & Y_n & X_n & Z_n & Y_n X_n & Y_n Z_n & X_n Z_n & Y_n^2 & X_n^2 & Z_n^2 & X_n Y_n Z_n & Y_n^3 & Y_n X_n^2 & Y_n Z_n^2 & Y_n^2 X_n & X_n^3 \\ & & & & & & & X_n Z_n^2 & Y_n^2 Z_n & X_n^2 Z_n & Z_n^3 & & & & & \end{bmatrix}^T \quad (11)$$

$$\begin{aligned} a &= [a_1 \ a_2 \ a_3 \ \dots \ a_{20}]^T \\ b &= [b_1 \ b_2 \ b_3 \ \dots \ b_{20}]^T \end{aligned} \quad (12)$$

para s_n ,

$$\begin{aligned} p_3(X_n Y_n Z_n) &= c_1 + c_2 Y_n + c_3 X_n + c_4 Z_n + c_5 Y_n X_n + c_6 Y_n Z_n \\ &+ c_7 X_n Z_n + c_8 Y_n^2 + c_9 X_n^2 + c_{10} Z_n^2 + c_{11} X_n Y_n Z_n + c_{12} Y_n^3 + c_{13} Y_n X_n^2 \\ &+ c_{14} Y_n Z_n^2 + c_{15} Y_n^2 X_n + c_{16} X_n^3 + c_{17} X_n Z_n^2 + c_{18} Y_n^2 Z_n + c_{19} X_n^2 Z_n + c_{20} Z_n^3 = c^T u \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} p_4(X_n Y_n Z_n) &= d_1 + d_2 Y_n + d_3 X_n + d_4 Z_n + d_5 Y_n X_n + d_6 Y_n Z_n \\ &+ d_7 X_n Z_n + d_8 Y_n^2 + d_9 X_n^2 + d_{10} Z_n^2 + d_{11} X_n Y_n Z_n + d_{12} Y_n^3 + d_{13} Y_n X_n^2 \\ &+ d_{14} Y_n Z_n^2 + d_{15} Y_n^2 X_n + d_{16} X_n^3 + d_{17} X_n Z_n^2 + d_{18} Y_n^2 Z_n + d_{19} X_n^2 Z_n + d_{20} Z_n^3 = d^T u \end{aligned} \quad (14)$$

reescrevendo na forma matricial,

$$u = [1 \ Y_n \ X_n \ Z_n \ Y_n X_n \ Y_n Z_n \ X_n Z_n \ Y_n^2 \ X_n^2 \ Z_n^2 \ X_n Y_n Z_n \ Y_n^3 \ Y_n X_n^2 \ Y_n Z_n^2 \ Y_n^2 X_n \ X_n^3 \ X_n Z_n^2 \ Y_n^2 Z_n \ X_n^2 Z_n \ Z_n^3]^T \quad (15)$$

$$\begin{aligned} c &= [c_1 \ c_2 \ c_3 \ \dots \ c_{20}]^T \\ d &= [d_1 \ d_2 \ d_3 \ \dots \ d_{20}]^T \end{aligned} \quad (16)$$

sabendo que,

$(a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk}, d_{ijk})$: representam os coeficientes polinomiais também conhecidos como *Rational Polynomial Coefficients* (RPC) e *Rational Function Coefficients* (RFC).

As expressões p_1 , p_2 , p_3 e p_4 das Equações 9, 10, 13 e 14 resultam em um total de 80 coeficientes RPCs.

De acordo com Büyüksalih, Oruc e Jacobsen (2004), este modelo baseado em 80 coeficientes representa apenas uma aproximação, porém devido ao grande número de coeficientes empregados, a perda da acurácia é relativamente pequena quando comparado com o modelo rigoroso, sendo que os RPCs baseados apenas na orientação direta do sensor devem ser melhorados por um *shift*, através do uso de pontos de controles.

Generalizando, as distorções causadas pela projeção ótica podem ser corrigidas pela razão dos termos de primeira ordem, enquanto que as correções em função a

curvatura da Terra, refração atmosférica e distorção da lente, podem ser aproximadas pelos termos de segunda ordem. Outras distorções desconhecidas podem ser modelados com termos de terceira ordem (TAU; HU, 2001).

Estudos elaborados por Tau e Hu (2001) descrevem que o modelo RFM é uma formulação genérica de polinômios, cuja formulação matemática que relembra as equações projetivas DLT (*Direct Linear Transformation*), que é representada pela razão entre dois polinômios de primeira ordem.

Segundo OGC¹ (1999 apud PINHEIRO, 2003), os modelos baseados em Funções Racionais podem ser utilizados para todos os tipos de imagens e independem do sensor e plataforma do satélite, porém trata-se de um processo complexo para evitar que o denominador da função polinomial seja zero.

De acordo com Tao e Hu (2001) o RFM é capaz de proporcionar um ajustamento altamente acurado suportando implementações em tempo real, não apresentando nenhuma relação funcional entre os parâmetros do modelo do sensor físico e dos utilizados pelo RFM. Conseqüentemente o usuário pode realizar seus processamentos fotogramétricos, como ortorretificação, reconstrução 3D (estéreo) e geração de Modelos Digitais do Terreno (MDT).

A utilização do RFM tornou-se uma opção para as empresas que podem manter em sigilo informações com relação ao sensor, desde que forneçam o arquivo dos coeficientes polinomiais, designados como *Rational Polynomial Coefficient* (RPC), podendo também ser encontrado na literatura como *Rational Function Coefficients* (RFC).

2.3.2 Estimação dos Coeficientes RPCs

Existem dois métodos de estimação dos coeficientes RPCs utilizando a solução independente do terreno (*terrain-independent solution*) que utiliza o modelo físico de sensor e a solução dependente do terreno (*terrain-dependent solution*) baseado em pontos de controle ao invés do modelo rigoroso (HU; TAO; CROITORU, 2004).

¹ Opengis Consortium (OGC). The OpenGISTM abstract specification – topic 7: the earth imagery case. versão 4, 1999.

Segundo Tao e Hu (2001) a solução dos coeficientes RPC baseado na solução independente do terreno utiliza um *grid* 3D, cujas coordenadas dos pontos são determinadas por um modelo rigoroso do sensor, e uma solução independente de um modelo terreno e pode ser resumida em:

- Geração de um *grid* imagem contendo pontos distribuídos aleatoriamente em toda a extensão da imagem, com número de linhas e colunas iguais, por exemplo, 10 por 10.
- Estabelecimento de um *grid* 3D no espaço objeto com vários *layers* utilizando o modelo rigoroso do sensor.
- As coordenadas horizontais (X, Y) dos pontos do *grid* objeto 3D são calculados em função das coordenadas (l, s) do *grid* imagem usando o modelo rigoroso do sensor e dados de elevação Z.
- Utilização do método dos mínimos quadrados direto para estimar os coeficientes polinomiais através dos correspondentes pontos de *grid* objeto (X, Y, Z) e imagem (l, s).
- A verificação da acurácia pode ser avaliada através da diferença de coordenadas imagem (Δ_l, Δ_s) dos pontos de verificação calculados através do modelo rigoroso do sensor ($l_{\text{mod_rigoroso}}, s_{\text{mod_rigoroso}}$) e do modelo RPC ($l_{\text{mod_RPC}}, s_{\text{mod_RPC}}$).

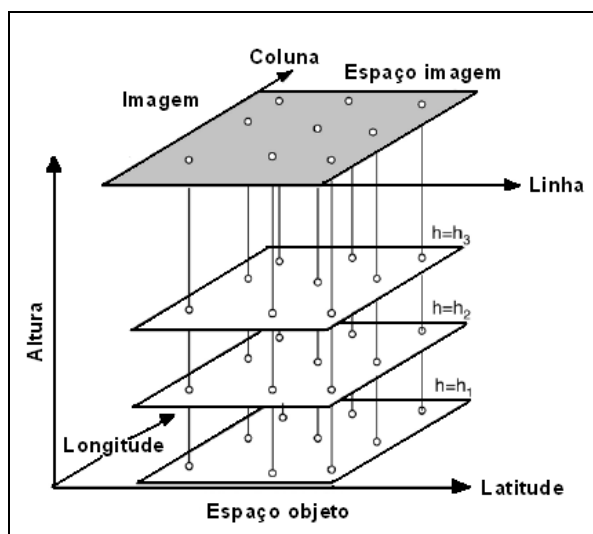


Figura 8 - Esquema ilustrativo do espaço objeto e imagem baseado no método de estimação dos RPCs independente do terreno.

Fonte: Adaptado de Fraser, Dial e Grodecki (2006).

Shi e Shaker (2003) apud Araki (2005) descreve que neste método de estimação dos coeficientes dos polinômios racionais não existe relação funcional entre os parâmetros do modelo físico e aqueles dos polinômios racionais, deste modo, os parâmetros físicos do sensor não podem ser recuperados a partir dos coeficientes dos polinômios, podendo em algum situação não reproduzir à superfície terrestre verdadeira.

No caso da solução dos coeficientes polinomiais através do método dependente do terreno, ou seja, quando um modelo rigoroso do sensor não é disponível, o *grid* objeto 3D não pode ser gerado, sendo necessário um conjunto de pontos de controle e de verificação bem distribuídos sobre a cena, os pontos de controle podem ser coletados de forma convencional por meio de cartas topográficas, GPS, MDE, entre outros (TAO; HU, 2002). Conseqüentemente a solução é altamente dependente do relevo e da distribuição e quantidade de pontos de controle.

De acordo com Hu, Tao e Croitoru (2004) para o cálculo dos coeficientes RPCs é utilizado o método dos mínimos quadrados iterativo com regularização. A técnica de regularização é utilizada para evitar um possível problema de mal-condicionamento da matriz *design* (matriz das derivadas parciais) provocando instabilidade numérica durante o processo de ajustamento.

A estimação dos RFCs através da solução independente do terreno proporciona resultados acurados com a utilização do modelo físico de sensor, podendo ser utilizado como um modelo aproximado de correção geométrica do sensor para substituir o modelo rigoroso. No caso da solução dependente do terreno, a insuficiência e qualidade dos pontos de controle influenciam na acurácia e confiabilidade da solução, conseqüentemente a solução independente do terreno torna-se mais atraente, principalmente para as empresas que trabalham com imageamento (HU; TAO; CROITORU, 2004).

2.4 Modelo Digital do Terreno

O conceito do Modelo Digital do Terreno para Miller e Laflamme (1958) apud El-Sheimy (1999) é descrita como uma representação estatística da superfície contínua do terreno gerado por um elevado número de pontos de coordenadas (X, Y, Z) conhecidas em um sistema de coordenadas arbitrário.

Para Barbosa et al. (2003) o modelo digital do terreno é descrito como uma representação digital do relevo ou terreno, descrita por um conjunto de dados que explicitam as coordenadas (X, Y, Z) do terreno e a forma como os mesmos estão relacionados.

No ramo da Cartografia o MDT é uma ferramenta frequentemente utilizada para geração de ortofotos e ortoimagens, mapas topográficos, geração de curvas de nível e outros. As principais fontes de dados para a geração dos MDTs são derivados de curvas de nível digitalizadas, métodos fotogramétricos, levantamentos topográficos e geodésicos, e ainda por meio de varredura a laser e radar, fontes estas que fornecem a elevação dos pontos no terreno para a geração do modelo (COSTA, 2006).

Para Simões (1993) a construção do MDT pode ser feita a partir de um conjunto de pontos amostrais e de linhas, que poderão ser complementados com informações relevantes que modelam características especiais da superfície, caso a informação esteja disponível. Desta forma, pode-se incluir elevações de feições topográficas significativas e *breaklines* para melhor caracterizar a forma real do terreno.

Os métodos frequentemente utilizados para a representar superfícies no formato digital são: curvas de nível, malha regular e rede irregular de triângulos (TIN), sendo esta última a triangulação de *Delaunay* a mais utilizada, pois este tipo de triangulação tende a criar triângulos mais homogêneos o que favorece uma melhor aproximação com a realidade do terreno amostrado (BARBOSA et al. 2003).

De acordo com McCullagh (1988) o MDT deve ser uma superfície contínua, sendo o método de interpolação o responsável para obtenção do mesmo. Existem basicamente dois métodos de interpolação o global e o local.

Os métodos globais de interpolação ajustam uma função em que todos os pontos amostrais são considerados na geração da superfície, no caso dos métodos locais a maior preocupação está relacionada à influência do efeito autocorrelativo presente na superfície, que diminui à medida em que distância ao ponto interpolado aumenta, ou seja, quanto maior a distância menor será a contribuição do ponto amostrado para a determinação do ponto interpolado (MCCULLAGH, 1988).

Desta forma, pode-se resumir o processo de geração de MDT em cinco etapas principais: aquisição, representação, interpolação, checagem e edição. Checagem e edição são as etapas de validação e refinamento do modelo. (BARBOSA et al. 2003).

2.5 Ortorretificação

De acordo com Wolf (1983), uma ortofoto é definida como sendo uma fotografia cujos objetos imageados são corrigidos para a sua posição ortográfica verdadeira, ou seja, uma ortofoto é geometricamente compatível com os mapas planialtimétricos tradicionais, ou seja, podem-se fazer medições de distâncias, ângulos, posições e áreas. As ortofotos são compostas de imagens de feições, enquanto que os mapas são compostos por feições lineares, pontuais e zonais acrescentados de símbolos.

A orrorretificação é um processo que utiliza modelos rigorosos para correção geométrica associados com modelos digitais de elevação acurados para correção das distorções nas imagens e obtenção do valor da altitude de cada ponto do terreno imageado.

Para a geração de uma ortoimagem a partir de imagens de satélite devem se considerar várias distorções que influenciam na qualidade geométrica da imagem. Para Pinheiro (2003) podem ser listadas as distorções em função do modelo orbital do satélite, plataforma, propriedades do sensor, rotação e curvatura da Terra além dos efeitos topográficos, e para a redução e/ou eliminação destes efeitos são utilizados os modelos de correção geométrica.

De acordo com Croitoru et al. (2004) o processo de orrorretificação usando o RFM é idêntico ao processo realizado com os modelo físico do sensor (rigoroso), ou seja, utilizando o modelo RFM no lugar da equação de colinearidade.

O processo de orrorretificação utilizando o modelo RFM pode ser realizado em três etapas:

- 1) Determinação da dimensão da ortoimagem e resolução;
- 2) Realização da interpolação do valor da altura (Z) correspondente a cada *pixel* da ortoimagem (X, Y), utilizando um MDE e posteriormente a transformação de cada ponto de coordenada 3D (X, Y, Z) para o espaço imagem utilizando os coeficientes do RFM.
- 3) E finalmente, para cada ponto de coordenada 3D é interpolado um tom de cinza do espaço imagem, para ser atribuído a ortoimagem.

Uma alternativa descrita por Croitoru et al. (2004) para aumentar o desempenho do processo é a aplicação de um *patch-based approach*. Assim a transformação

terreno-imagem (*ground-to-image*), é aplicada somente em um conjunto de pontos âncora (*anchor points*).

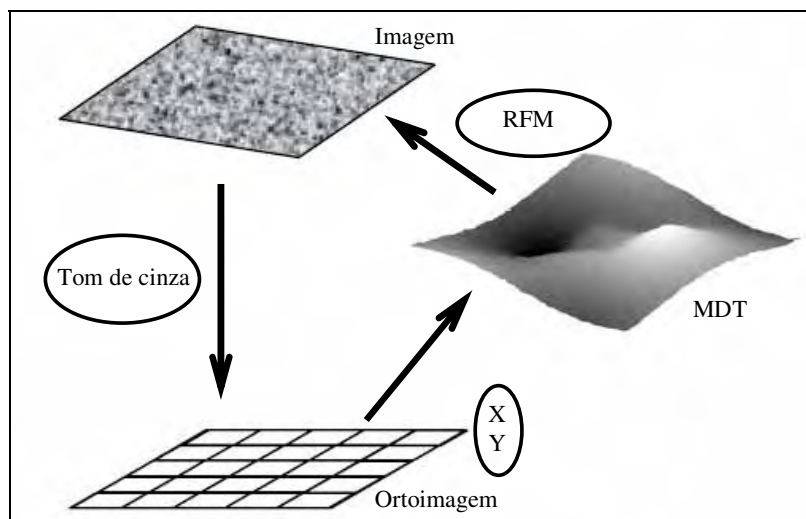


Figura 9 - Processo de ortorretificação de imagens baseado no RFM.
Fonte: Adaptado de Croitoru et al. (2004).

2.6 Interpretação Visual de Imagens

A interpretação visual de imagens é também conhecida como Fotointerpretação, que consiste na extração de informação dos objetos terrestres a partir da análise de suas respostas espectrais, utilizando os elementos fotointerpretativos: cor, forma, tamanho, padrão, textura, associação, entre outros (MOREIRA, 2003).

Em contraposição o autor Lyon (2001) distinguiu essas duas terminologias, a Fotointerpretação associada especificamente com a interpretação de produtos fotogramétricos, enquanto que interpretação de imagens como algo mais amplo, que abrange todos os tipos de imagens incluindo, por exemplo, fotografias digitais e imagens de satélites. Lembrando que os métodos e habilidades empregados na interpretação são os mesmos utilizados para imagens quanto para as fotografias aéreas.

Segundo Marchetti e Garcia (1977), a interpretação de fotografias e imagens de satélites apresenta natureza qualitativa, e a qualidade da informação extraída depende de vários fatores relacionados como o intérprete como: a acuidade visual, observação, paciência,

bom senso e experiência profissional. Porém uma etapa importante é o reconhecimento de campo que proporcionará a verificação da interpretação realizada (“Verdade Terrestre”).

De acordo com Konecny (2003), a interpretação visual das imagens é baseada na capacidade em que o sistema *eye-brain* (visão-cérebro) consegue distinguir e identificar feições e objetos presentes na superfície terrestre. Destaca a existência de quatro níveis hierárquicos para a análise da imagem, iniciando com o primeiro nível composto pela observação da cor e diferenças de tonalidades, o segundo nível é representado pela comparação do tamanho, forma e textura, o terceiro nível é constituído pelo padrão, diferenças de alturas e sombras e o último nível compõe-se da associação e localização.

Primeiro nível:

- Cor e Tonalidade

A cor refere-se ao comprimento de onda do espectro visível, como por exemplo, o vermelho, verde e azul, que foi refletido pelo objeto e registrado em uma imagem. No caso das imagens multiespectrais faz-se a composição colorida utilizando três bandas espectrais, e a cada banda é associando a uma cor RGB (*Red, Green, Blue*), este tipo de combinação espectral aumenta a capacidade de identificação dos alvos, pois a cada cor é associado um intervalo espectral que responde melhor um determinado alvo da superfície terrestre.

A tonalidade está relacionada com a variação dos níveis de cinza que os objetos registrados na imagem (branco e preto) podem assumir, diferentes alvos podem refletir a luz solar de maneira semelhante, do mesmo modo que objetos parecidos podem ter refletâncias diferentes. Quando se trata de uma imagem pancromática verifica-se que objetos que refletem muita energia são associados a tons de cinza claros, inversamente, objetos que refletem pouca energia solar são associados a tons de cinza escuros, assim o intervalo varia do preto ao branco com vários tons de cinza intermediários (MOREIRA, 2003).

Segundo Nível:

- Tamanho

O tamanho dos objetos em uma imagem pode ser considerado como sendo um fator de escala, assim a relação de tamanho entre os objetos de imagens diferentes só podem ser considerados se a escala for a mesma (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2004).

Este elemento pode ser decisivo na identificação de objetos como, por exemplo, diferenciar um córrego de um rio ou uma casa de um supermercado. Desde que os objetos de interesse sejam maiores que a resolução espacial do sensor utilizado (CENTENO, 2004).

- Forma

A forma refere-se à estrutura ou a linha que individualiza cada objeto, caso se utilize estereoscopia nas imagens, a altura do objeto também pode definir a forma (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2004).

De acordo com Moreira (2003), as formas de alguns objetos são tão evidentes e indiscutíveis que apenas esse critério é suficiente para identificá-lo como, por exemplo, culturas agrícolas como arroz, soja e milho, que apresentam formas regulares e características bem definidas, podem ser facilmente diferenciadas do plantio de hortaliças que demanda uma área muito menor.

Porém muitas vezes é necessário fazer a associação da forma com outras características, pois muitos objetos presentes na superfície terrestre apresentam formas semelhantes.

- Textura

De acordo com Lillesand, Kiefer e Chipman (2004), a textura é a frequência de tonalidade em uma imagem, produzida pela agregação de feições que visualmente provocam a sensação de “suavidade” ou “rugosidade” das feições em uma imagem. Essa sensação de rugosidade é devido à mudança abrupta dos tons de cinza em uma pequena área, enquanto que texturas lisas apresentam pequena variação de tons de cinza. A textura varia com a escala, ou seja, com a redução da escala as texturas dos objetos tendem a diminuir até que finalmente desapareçam. A textura é um dos elementos mais importantes para distinguir feições em imagens de radar.

Terceiro Nível:

- Padrão

O padrão diz respeito à organização espacial dos objetos, sendo que a repetição de algumas formas ou relacionamentos caracteriza alguns objetos da superfície terrestre, podendo estes ser naturais ou antrópicos. Como por exemplo, o padrão de drenagem e área urbana respectivamente (JENSEN, 2000). Os padrões podem ser do tipo randômico, sistemático, circular, oval, curvilíneo, linear, radial, retangular, hexagonal, etc.

- Sombra

Sombras são elementos importantes para os intérpretes, a forma ou contorno de uma sombra permite a impressão da visão do perfil e altura relativa dos objetos o que auxilia no processo de interpretação. Porém os objetos que são cobertos pelas sombras refletem pouca luz dificultando a interpretação e até mesmo provocando a oclusão de objetos

ou feições (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2004). Para diminuir o efeito da sombra nas imagens, uma alternativa é realizar as aquisições das cenas enquanto o Sol estiver nas posições próximas ao zenite, ou seja, entre 10 às 14 horas. Assim há uma diminuição considerável do efeito de oclusão de objetos pela sombra.

Quarto Nível:

- Localização

De acordo com Jensen (2000), a localização refere-se à porção geográfica do terreno, e pode ser obtido através de dois métodos.

O primeiro método consiste no levantamento de campo utilizando técnicas topográficas convencionais (teodolito, nível e estação total) ou equipamentos de posicionamento por satélites como o GPS e o GLONASS. E o segundo método é extrair a informação das coordenadas diretamente de uma imagem georreferenciada ou retificada.

- Associação

O elemento interpretativo associação leva em consideração a relação de vizinhança entre os objetos, ou seja, características importantes que podem facilitar na identificação do objeto de interesse. Para Jensen (2000) o elemento associação deve ser estudado conjuntamente com outros elementos, ou seja, raramente é utilizado independentemente e unicamente para analisar alvos em uma imagem.

Além dos elementos fotointerpretativos apresentados anteriormente, deve-se levar em consideração os fatores relacionados com as imagens de satélites, dados auxiliares ou colaterais e equipamentos para melhorar a visualização da imagem e conseqüentemente melhorar a interpretação.

A Figura 10 abaixo apresenta um esquema hierárquico dos elementos fotointerpretativos.

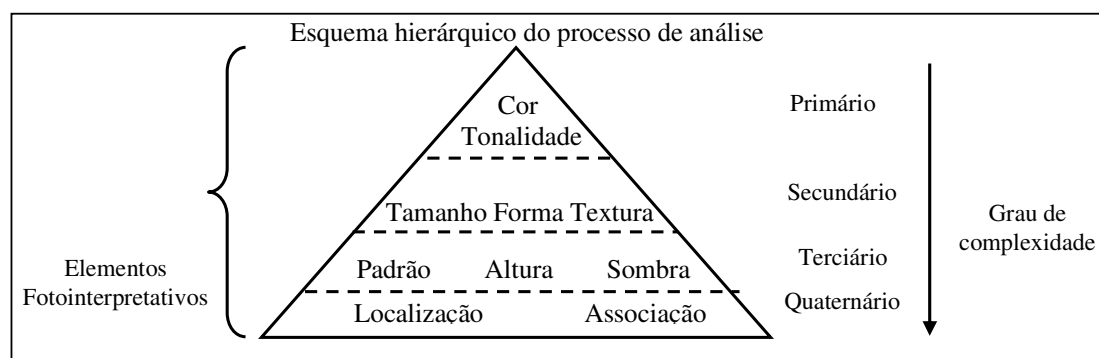


Figura 10 - Esquema hierárquico entre dos elementos fotointerpretativos no processo de interpretação.
Fonte: Adaptado de Herold, Liu, e Clarke (2003).

O processo de interpretação de imagens envolve vários níveis de complexidade, levando em considerações todas as condições ambientais para sucessivamente convergir suas evidências e conseqüentemente aumentar a acurácia no detalhamento de suas interpretações.

2.7 Chave de Interpretação

Todo material de referência (ou caminho utilizado) para facilitar na identificação e determinação de objetos com segurança e rapidez é chamado de chaves de interpretação (LOCH, 1989).

Para Andrade (1998), a chave de interpretação consiste na descrição do conjunto de elementos de fotointerpretação que caracterizam um determinado alvo da superfície terrestre, que posteriormente será utilizado por diferentes intérpretes em condições diferentes, porém, os resultados obtidos serão os mesmos desde que utilizando o mesmo produto de sensoriamento remoto.

A chave de interpretação auxilia o intérprete na avaliação da informação registrada na imagem de maneira consistente e organizada, conduzindo a correta identificação dos objetos (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2004).

As chaves de interpretação são construídas em função da aparência dos objetos que são registradas na imagem e da sua ocorrência no terreno, e utilizando os elementos de interpretação para a sua modelagem. A qualidade da interpretação está intimamente ligada à resolução espacial, espectral e radiométrica do sistema sensor, ou seja, quanto melhor a qualidade das imagens obtidas, melhores serão os diagnósticos (ANDRADE, 1998).

Moreira (2003) cita dois métodos para a interpretação de imagens: Método Comparativo e Método Sistemático.

2.7.1 Método Comparativo

Segundo Lillesand, Kiefer e Chipman (2004) existem dois tipos de chaves de interpretação, que se diferenciam principalmente devido ao método de comparação empregado para diagnóstica as feições, e podem ser classificadas em seletivas e eliminatórias.

A chave seletiva utiliza grande quantidade de exemplos de imagens com suporte de texto, ou seja, o intérprete seleciona os exemplos que mais se assemelham as feições ou condições encontradas na imagem de estudo (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2004).

Este método consiste em separar alvos que apresentam níveis de cinza ou cores diferentes da classe de interesse, podem-se gerar mapas temáticos para identificação de alvos específicos, como a distribuição espacial de áreas de pastagem ou culturas agrícola (MOREIRA, 2003).

De acordo com Lillesand, Kiefer e Chipman (2004), na chave de eliminação a interpretação é executada passo a passo e do geral para o específico, na qual todas as feições ou condições serão eliminadas até restar somente um objeto que pode ser relacionado. Estas chaves são frequentemente moldadas como uma chave dicotômica, na qual o intérprete escolhe uma entre duas alternativas contrastantes, através de uma série de escolhas.

2.7.2 Método Sistemático

Este método consiste da aplicação de uma metodologia em seqüência lógica que consiste na etapa de leitura, análise e interpretação para a geração de mapas temáticos de ocupação do solo (MOREIRA, 2003).

A seguir são apresentados os métodos sistemáticos para a interpretação visual de imagens:

- Metodicamente: neste caso é feita a interpretação de um tema por vez, por exemplo, pode-se citar a classe hidrografia.

- Do geral para o particular: a partir de uma classe pode-se gerar subclasses, ou seja, é possível refinar sua interpretação, por exemplo, plantação de milho, milho colhido e plantação de milho nova.

- Do conhecido ao desconhecido: neste método são mapeadas todas as classes conhecidas, como por exemplo, mata ciliar, hidrografia, vegetação, pastagem e área urbana.

- Convergência de evidências: neste caso, a interpretação visual é executada com base na existência de critérios que evidenciam a presença do alvo de interesse. Por exemplo, para definição de limites de propriedades pode-se levar em consideração a existência de curvas de nível que se desencontram quando ultrapassam de uma propriedade a outra.

2.8 Sistema de Posicionamento por Satélite

Posicionar um objeto, dentro do contexto da Geodésia, significa determinar suas coordenadas tridimensionais. Atualmente essa tarefa é amplamente realizada através de técnicas de posicionamento por satélites artificiais. Dentre as técnicas possíveis, destacam-se o posicionamento por SLR (*Satellite Laser Range*), DORIS (*Doppler Orbitgraphy and Radiolocation Integrated by Satellite*), GLONASS e GPS (MONICO, 2000).

Dentre os sistemas citados, o GPS atualmente ocupa posição de destaque a nível mundial, tornando-se uma tecnologia acessível para uma grande comunidade de usuários. Trata-se de um sistema de navegação por satélites, desenvolvida pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, DoD (*Department of Defense*) na década de 70 e que entrou em atividade em 06 de janeiro de 1980 (EL-RABBANY, 2002).

Os sistemas de posicionamento por satélites proporcionam aos usuários observáveis que permitem calcular as coordenadas tridimensionais acuradas dos objetos sobre a superfície terrestre, ou próxima a ela, desde que não sofra interferência e/ou influência de obstáculos, e tenha a sua disposição, no mínimo, quatro satélites rastreados simultaneamente, no caso do posicionamento por ponto ou absoluto. Qualquer usuário pode utilizar seus serviços gratuitamente, necessitando apenas de um receptor que receba o sinal emitido pelos satélites para o posicionamento em tempo real.

De acordo com Wellenhof, Lichtenegger e Collins (2001), existem basicamente quatro tipos de receptores GPS, classificados em função do tipo de observável, fase da onda portadora ou pseudodistância (Código C/A, Código P, Código Y). Sendo estes listados abaixo:

- Receptores com código C/A;
- Receptores com código C/A e fase da onda portadora;
- Receptores com código P e fase da onda portadora;
- Receptores com código Y e fase da onda portadora.

Monico (2000) classifica os métodos de posicionamento GPS em pontual ou absoluto e relativo, podendo também se utilizar o método DGPS (*Differential GPS*).

No caso do Posicionamento Absoluto também conhecido como Posicionamento por Ponto, é necessário apenas um receptor e de no mínimo 4 satélites visíveis simultaneamente, ou seja, rastreados na mesma época, para se obter o posicionamento tridimensional de um objeto. Nesse método a determinação das posições varia em função do nível de precisão requerido pelo usuário podendo ser pelo Posicionamento por Ponto - PP geralmente em tempo real ou pós-processada utilizando o Posicionamento por Ponto Preciso - PPP (FAUSTINO, 2006).

No posicionamento relativo, as coordenadas tridimensionais de um ponto são determinadas em relação à de outro(s), cujas coordenadas são conhecidas a priori, desta forma são necessários dois ou mais receptores rastreando simultaneamente, um grupo de pelo menos dois satélites comuns. No DGPS, um receptor GPS é estacionado numa estação de referência onde são calculadas correções de coordenadas ou de pseudodistâncias, que são transmitidas para os usuários da estação a ser posicionada (MONICO, 2000).

2.8.1 Posicionamento Relativo

O método de posicionamento relativo pode ser executado de duas formas, a primeira opção é baseada na utilização de pelo menos dois receptores, rastreando um grupo de pelo menos dois satélites simultaneamente para determinação de suas coordenadas relativas. Um dos receptores é selecionado como referência ou base e permanece estacionado em uma posição cujas coordenadas são conhecidas, e servirá como base para o cálculo das coordenadas dos outros receptores de coordenadas desconhecidas, conhecidos como *rover* ou receptor móvel (EL-RABBANY, 2002).

A segunda opção é a utilização das Estações de Referência também conhecidas como Sistemas de Controle Ativo (SCA) para realização do posicionamento relativo. No caso do Brasil, temos como exemplo a RBMC (Rede Brasileira de

Monitoramento Contínuo) cujos dados podem ser obtidos gratuitamente pelo site oficial do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a RIBaC (Rede Inera de Bases Comunitárias do GPS), e a SCNET (Rede de Estações Ativas da Santiago & Cintra) cujos dados são restritos aos seus clientes. No oeste do estado de São Paulo está sendo implantada uma Rede GNSS Ativa, pelo Departamento de Cartografia da FCT/UNESP, que atenderá de forma mais efetiva os usuários do Estado de São Paulo.

Deste modo o sistema de referência do SCA será introduzido na solução do usuário a partir das coordenadas das estações utilizadas como estações de referência (MONICO, 2000).

A principal observável adotada neste método de posicionamento é a Dupla Diferença (DD) da fase do batimento da onda portadora, podendo também ser utilizada a DD da pseudodistância, ou ambas as observáveis. Segundo Mônico (2000) a utilização das duas observáveis conjuntamente proporcionam melhores resultados no posicionamento em termos de acurácia.

O princípio básico da DD do posicionamento relativo usando dois satélites (S1 e S2) e dois receptores (R1 e R2) é ilustrado na Figura 11.

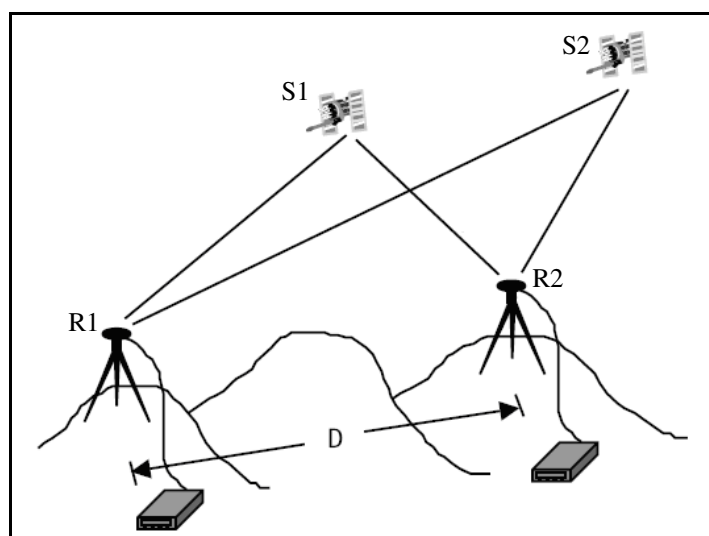


Figura 11 - Princípio do método de posicionamento relativo.
Fonte: Adaptado de El-Rabbany (2002).

De acordo com Machado (2002) apud Monico (1996), a utilização da DD como observáveis fundamentais no posicionamento relativo proporciona a minimização dos erros comuns às estações (erro do relógio dos satélites e do receptor), e no caso de linhas de

base curtas o processo de diferenciação reduzirá os efeitos da refração atmosférica (troposfera e ionosfera), resultando em uma observação com pouca influência desses efeitos sistemáticos.

Devido ao grau de precisão das coordenadas obtidas por este método, surgiram várias ramificações, como o posicionamento relativo estático, estático rápido, semicinemático e cinemático, sendo este último subdividido em cinemático pós-processado e em tempo real (MONICO, 2000).

Nas próximas seções serão apresentadas uma breve descrição dos métodos de posicionamento relativo estático e cinemático, sendo estes os métodos escolhidos para execução desta pesquisa.

2.8.2 Posicionamento Relativo Estático

No posicionamento relativo estático deve se dispor de dados de pelo menos dois receptores rastreando simultaneamente, por um período de pelo menos 20 minutos, pois as ocupações com tempo de coleta menor que 20 minutos são tratados como método relativo estático rápido.

Neste tipo de posicionamento, somente as duplas diferenças da fase da portadora são incluídas como observáveis no cálculo das posições, pois a utilização da pseudodistância no pós-processamento não melhora significativamente a qualidade do posicionamento. Porém no pré-processamento a disponibilidade da pseudodistância permite estimar o erro do relógio do receptor e instante aproximado da transmissão do sinal dos satélites (MONICO, 2005).

Devido ao tempo de coleta de dados, variando de 20 à 30 minutos dependendo do equipamento utilizado, as ambigüidades são facilmente solucionadas durante o processo de ajustamento, salvo em alguns casos com problemas inesperados, sendo que a alteração da geometria dos satélites durante a sessão auxilia na solução da ambigüidade (SOUZA, 2004).

2.8.3 Posicionamento Relativo Cinemático

De acordo com Mônico (2000) o método de posicionamento relativo cinemático pode-ser classificado em duas categorias dependendo do tipo de processamento realizado, podendo ser em tempo real quando as observáveis são processadas durante o rastreamento ou pós-processado quando realiza-se o processamento posterior a coleta.

No caso do posicionamento relativo cinemático pós-processado, um receptor serve como base coletando dados sobre uma estação de coordenadas conhecida (referência), podendo ser também uma estação do SCA, enquanto que um outro receptor percorre as feições de interesse (receptor móvel). Neste tipo de posicionamento a solução do vetor das ambigüidades pode ser resolvido de duas formas: antes de se iniciar o levantamento ou durante o levantamento propriamente dito (sem perda de sinal).

A principal diferença do posicionamento em tempo real é a necessidade da transmissão dos dados da estação de referência para o receptor móvel, através de um sistema de comunicação (*link* de rádio, internet, satélites, FM). Este método de posicionamento é muito semelhante ao DGPS em tempo real, porém utilizando a fase da onda portadora ao invés da pseudodistância, visando obter melhores resultados (MONICO, 2000).

2.9 Receptor GPS de Navegação

Em geral os levantamentos geodésicos e projetos de engenharia utilizam para muitos propósitos os receptores GPS de dupla frequência, devido ao seu grau de acurácia no posicionamento. Apesar da diminuição do custo destes equipamentos com o passar dos tempos, esses equipamentos ainda possuem alto custo para aquisição.

Com a modernização do sistema GPS, e a desativação da *Selective Availability* (SA), ocorrida em 2000, a utilização de receptores GPS de mão ou navegação (*handhelds receivers*) está se tornando cada vez mais popular entre a comunidade civil (CAMARGO; FLORENTINO; REDIVO, 2004).

Segundo Seeber (2003), os receptores GPS de navegação são classificados como classe A, com acurácia menor ou igual a 10 metros, são mais baratos que os receptores

GPS destinados para fins geodésicos e sua aplicação é voltada para atividades como navegação, fiscalização, monitoração de frotas, aplicações GIS, que demandam moderada precisão.

A principal característica destes receptores é a capacidade de estimar e armazenar as coordenadas dos objetos em tempo real, ou seja, não foram construídos para registrar as observáveis (pseudodistâncias e fase da portadora L1) em um arquivo interno, o que inviabiliza o pós-processamento dos dados como no caso dos receptores geodésicos (CAMARGO; FLORENTINO; REDIVO, 2004).

De acordo com Camargo, Florentino e Redivo (2004) existem programas, tais como o GRINGO (*GPS Rinex Generator*) desenvolvido pelo Instituto de Engenharia de Levantamento e Geodésia Espacial (*Institute of Engineering Surveying and Space Geodesy - IESSG*), da Universidade de *Nottingham* e o ASYNC e GAR2RNX (*Garmin to Rinex*) desenvolvido por Antonio Taberner Galán da Universidade Politécnica de Madri, na Espanha, capazes de adquirir dados da fase da onda portadora e pseudodistâncias, possibilitando o pós-processamento das observáveis GPS.

O GRINGO é um programa comercialmente distribuído, cujos resultados proporcionados são bastante animadores, de acordo com os estudos realizados por Schwieger (2003). Utilizando um GPS *Garmin eTrex Vista* acoplado em um *notebook*, obteve-se coordenadas com discrepância menor que 0,30 metros.

Alguns estudos e testes com os programas ASYNC e GAR2RNX foram realizados por Camargo, Florentino e Redivo (2003, 2004) e também constaram a acurácia do posicionamento absoluto, relativo estático e cinemático.

2.9.1 ASYNC E GAR2RNX

Os programas ASYNC e GAR2RNX foram implementados para uso em ambiente Windows (Visual C++) e para o ambiente Linux (gcc) e são distribuídos gratuitamente pela internet (<http://artico.lma.fi.upm.es/numerico/miembros/antonio/Async/>).

O programa ASYNC registra em um arquivo binário as observáveis GPS transmitidas pela porta de comunicação do aparelho receptor *Garmin* ao computador ou *notebook*, via cabo serial ou USB.

Posteriormente ao rastreo utiliza-se o programa GAR2RNX, para converter o arquivo binário gerado pelo programa ASYNC em um arquivo de texto no formato RINEX, assim proporcionando ao usuário possibilidade de realizar o pós-processamento dos dados para o cálculo de coordenadas dos pontos de interesse (CAMARGO; FLORENTINO; REDIVO, 2004).

Atualmente encontra-se disponível gratuitamente na internet uma versão do programa ASYNC executável em ambiente JAVA, compatível com dispositivos com suporte a essa linguagem, como por exemplo, *Pocket PC* e coletoras.

A versão Java do programa ASYNC foi desenvolvida por Michal Hobot, da cidade de Cracóvia (Polônia). Esta versão gera apenas o arquivo binário com as informações das observáveis GPS, assim posteriormente pode-se fazer a conversão do arquivo binário para um arquivo texto do tipo RINEX utilizando o programa GAR2RNX através de um computador *Desktop*.

Deve-se ressaltar que esta versão em Java não é executável em todas as plataformas, visto que os testes realizados por Michal Hobot limitaram-se para a versão do Windows CE 3.1, conseqüentemente para versões mais recentes deste sistema operacional o programa ASYNC apresenta problemas.

Uma nova versão do ASYNC compilável em uma coletora WORKABOUT PRO (PSION TEKLOGIX) operado em ambiente Windows CE. NET versão 4.2, foi desenvolvida por Erick Marlon Fernandes da Silva, programador da Empresa Rural.tec.

Esta versão foi desenvolvida a partir da compilação do programa fonte original (linguagem C) desenvolvida por Antonio Taberner Galán utilizando a ferramenta Microsoft eMbedded Visual C++ 4.0.

A maior dificuldade encontrada para a correta execução do programa foi a incompatibilidade dos parâmetros hh: mm: ss: ms (hora, minuto, segundo e milésimos de segundos) retornados pelo relógio do WORKABOUT PRO. Em uma visão geral, apenas o parâmetro relacionado ao cronômetro do relógio foi modificado, preservando totalmente o código fonte original.

2.9.2 Sistema de Coleta de Dados Utilizando Receptor GPS de Navegação e Coletora *Workabout Pro*

O sistema de levantamento GPS foi montado com a finalidade de diminuir os custos e aumentar a flexibilidade e robustez em termos de coleta de dados nos trabalhos de campo. Os equipamentos que compõem este sistema são basicamente a coletora *Workabout Pro* (PSION TEKLOGIX), receptor GPS *Garmin 12XL*, antena GPS externa e tripé.

A coletora *Workabout Pro* possui as seguintes configurações: sistema operacional é o Microsoft Windows CE.NET 4.2, processador Intel PXA255A0 (400MHz), memória Ram de 128 MB, memória *Compact Flash* de 64 MB, *Bluetooth* integrado e bateria de lithium-Ion recarregável (3000 mAh - (3.7 v)). que suporta várias horas de coleta.

A coletora *Workabout Pro* foi escolhida por ser um instrumento destinado para coleta móvel de dados, é um equipamento bastante leve quando comparado ao *notebook*, pode suportar altas temperaturas, e possui baixo custo de energia, além de propiciar fácil manuseio nos trabalhos de campo, como pode ser observado na Figura 12.

Outra vantagem do emprego da coletora ao invés do *notebook* é a possibilidade de execução do método de posicionamento relativo cinemático, e não apenas o posicionamento relativo estático para coleta de pontos de controle.

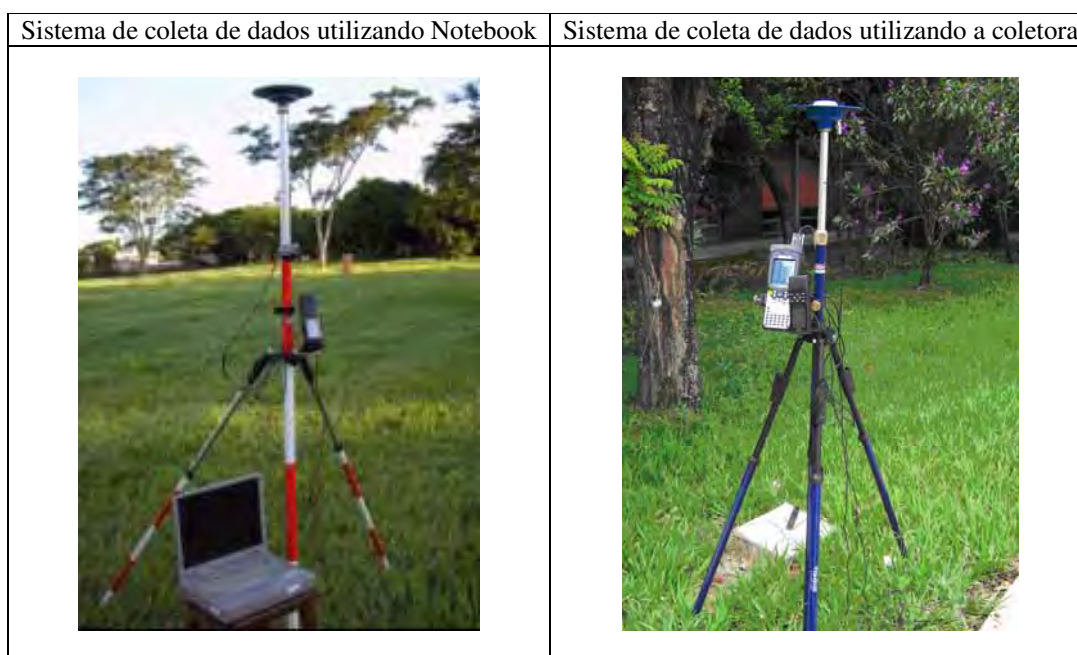


Figura 12 - Equipamentos para levantamento de campo utilizando notebook e coletora *Workabout Pro*.

3 ÁREA DE ESTUDO, MATERIAL E MÉTODO

3.1 Área de Estudo

3.1.2 Considerações à respeito do município de Presidente Prudente

O município de Presidente Prudente é localizado no extremo oeste do Estado de São Paulo, na região denominada Alta Sorocabana, atualmente sua população e área total estimada correspondem a 206.704 habitantes e 562 km², respectivamente, de acordo com os dados do último censo demográfico ocorrido em 2000 (IBGE, 2007).

Segundo Spósito (1983), verificou-se um aumento significativo da área urbana, a partir da década de 70, especialmente em 1976. Este fato pode ser explicado pelo processo de urbanização ocorrido nesse período, em que cerca de metade da população nacional já se encontravam nas cidades. Desde então o município vem crescendo em um ritmo acelerado e hoje ocupa posição de destaque entre os municípios vizinhos.

Recentemente foi aprovada a Lei Complementar Nº 127/2003, que trata do parcelamento do solo para fins urbanos para o município de Presidente Prudente, que adota as seguintes definições para efeito da Lei, descrita no Artigo 2º:

Área de expansão urbana é definida como a área urbanizável instituída pelo município, abrangendo imóveis que estejam situados dentro do perímetro urbano, ainda não parcelados para fins urbanos, e necessária para o crescimento harmonioso da cidade;

Área urbana é a área urbanizada contida dentro do perímetro urbano e assim definida em Lei;

Área rural é a área do município, excluídas as áreas urbanas, de expansão urbana e de interesse urbanístico especial;

Área de interesse urbanístico especial é a área programada para o uso exclusivamente residencial, sítios, ou chácaras de recreio, assim definida na Lei do Uso e Ocupação do Solo Urbano como Zona Especial – I;

Baseado na mesma Lei, o município de Presidente Prudente é subdividido em quatro áreas distintas, a urbana, de interesse urbanístico especial, rural e de expansão urbana. Vale ressaltar que os imóveis urbanos são aqueles cujos solos são destinados ao

cumprimento das funções urbanas de habitar, circular e recrear, localizados na área urbana e de expansão urbana.

Outra definição importante é com relação as chácaras de recreio, tais propriedades correspondem aos imóveis específicos para atender a finalidade de lazer, sendo proibido outro uso. As chácaras de recreio também são conhecidas como glebas, cujo definição corresponde a porção de terreno rural ou urbano que ainda não foi objeto de loteamento ou desmembramento (NBR 13133).

Os chamados vazios urbanos são os imóveis situados dentro do perímetro urbano que muitas vezes são objetos de especulação imobiliária, que podem direcionar ou redirecionar eixos de expansão do perímetro urbano (ALVAREZ, 1994).

Analisando a problemática gerada pelo processo de expansão urbana e os vazios urbanos, verifica-se que o mapeamento dessas áreas proporcionará subsídios para traçar estratégias para direcionar o processo de urbanização para locais adequados, objetivando a preservação do meio ambiente e minimização das especulações imobiliárias, entre outros benefícios.

De acordo com Lei complementar nº 140/2005 atualmente o município possui uma área urbana (perímetro urbano) de 135,46 Km². Constando de um sistema cadastral urbano incompleto, pois muitas propriedades ainda não foram levantadas, constando apenas dados declaratórios provenientes do Cadastro rural desses imóveis nos arquivos da prefeitura.

3.1.2 Definição das Áreas de Estudo

As três Áreas Testes escolhidas para este estudo estão localizadas no município de Presidente Prudente – SP, e são basicamente constituídas por glebas localizadas na áreas de expansão urbana e vazios urbanos. A maior preocupação para a escolha das Áreas Testes foi em encontrar glebas que apresentassem características físicas e geométricas semelhantes as chácaras de recreação, ou seja, glebas que possuem características físicas parecidas com as encontradas em pequenas propriedades rurais, porém podem ser consideradas glebas urbanas desde que respeitem a legislação vigente.

A primeira área teste escolhida compreende uma região de expansão urbana composta basicamente por pequenas propriedades rurais e chácaras de recreio, e a segunda

área teste corresponde à vazios urbanos localizados dentro do perímetro urbano que apresenta a mesma característica física com relação as propriedades, como pode ser visualizado na Figura 13 (a) e (b).

Uma terceira área teste foi escolhida, por se tratar de grandes vazios urbanos de formato irregular, localizados dentro da malha urbana (Figura 13 (c)), e que são bem delineados devido a presença de estradas asfaltadas que permitem definir claramente o limite das glebas, ao contrário da segunda área teste, cujos limites de uma gleba a outra é ocasionada pela presença de cercas, conseqüentemente, sendo melhor definida através da interpretação visual.

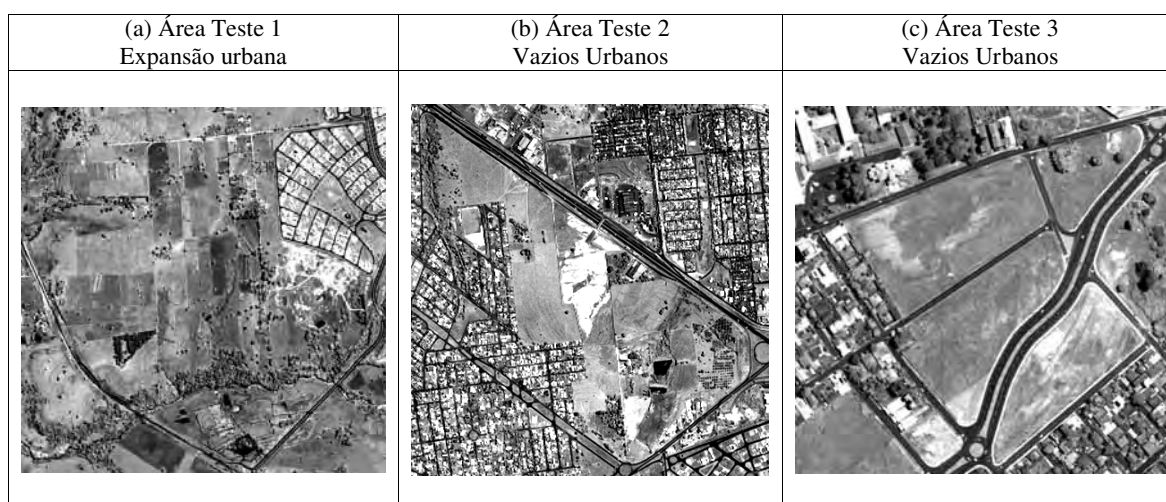


Figura 13 - Apresentação das três áreas testes referentes à área de expansão urbana e vazios urbanos do Município de Presidente Prudente.

Desta forma, neste trabalho foram apresentadas e analisadas duas alternativas diferentes para o mapeamento das glebas em função das suas características físicas, ou seja, para cada tipo de gleba pode-se optar por uma alternativa diferente de mapeamento visando alcançar melhor custo - benefício.

As imagens *QuickBird Standard* corrigidas geometricamente e ortorretificadas, conjuntamente com os dados pós-processados do receptor GPS de navegação são os principais instrumentos para a identificação e mapeamento das propriedades ou glebas, utilizados neste trabalho.

3.2 Material

3.2.1 Dados de Sensoriamento Remoto e Dados Cartográficos

- 1) Analisaram-se duas imagens do satélite Quickbird, as quais estão especificadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Especificações técnicas das imagens QuickBird.

	Data	Hora (UTC)	Tipo	Visada lateral	Bandas
Imagem 1	23/02/2007	05:15	ORStandard2A	3,7° <i>off-nadir</i> , sendo: -1,3° <i>mean in track</i> ; -3,5° <i>mean across track</i> .	PAN: 0,6m; 4 Muti: 2,4m
Imagem 2	10/03/2006	14:04	ORStandard2A	14,0° <i>off-nadir</i> , sendo: 5,9° <i>mean in track</i> ; -12,7° <i>mean across track</i> .	PAN: 0,6m; 4 Muti: 2,4m

- 2) Curvas de nível, em formato digital geradas a partir de restituição Fotogramétrica para a escala de 1:10000, realizada em 1995 sobre o município de Presidente Prudente.

3.2.2 Softwares Utilizados

Os softwares utilizados estão especificados a seguir:

- 1) Arcview 3.2 para edição dos arquivos contendo as curvas de nível.
- 2) MicroStation SE para quebra dos elementos lineares e exportação das coordenadas tridimensionais em arquivo do formato texto.
- 3) ERDAS: geração do modelo digital do terreno (MDT) e processo de correção geométrica e ortorretificação das imagens.
- 4) SPRING: utilizado para a geração das imagens fusionadas e classificação supervisionada.

- 5) IDRISI: realização das etapas de análise da qualidade temática das imagens fusionadas.
- 6) Map geo: aquisição das ondulações geoidais para cada ponto coletado em campo.
- 7) *Trimble* Geomatics Office: Processamento dos dados GPS.
- 8) TCD: Programa de Transformação de coordenadas e *Datum* versão 06/2004.

3.2.3 Equipamentos

- 1) Utilizaram-se dois aparelhos de *Global Positioning System* (GPS) sendo um receptor geodésico de simples frequência modelo *Trimble* 4600 LS e um receptor de navegação *Garmin* 12 XL.

3.3 Etapas da Metodologia Proposta

Neste item são apresentadas as principais etapas desenvolvidas para a execução deste trabalho.

A metodologia foi dividida em duas etapas principais, a primeira fase corresponde ao tratamento geométrico das imagens *QuickBird Standard* para-se obter uma imagem geometricamente melhor e a segunda fase que trata basicamente de duas técnicas diferentes para mapear estas glebas, de modo, a atender de maneira mais efetiva cada tipo de gleba em função das suas características físicas.

A primeira etapa da metodologia desenvolvida pode ser visualizada no diagrama da Figura 14, que apresenta a fase inicial de pré-processamento pra a geração das ortoimagens.

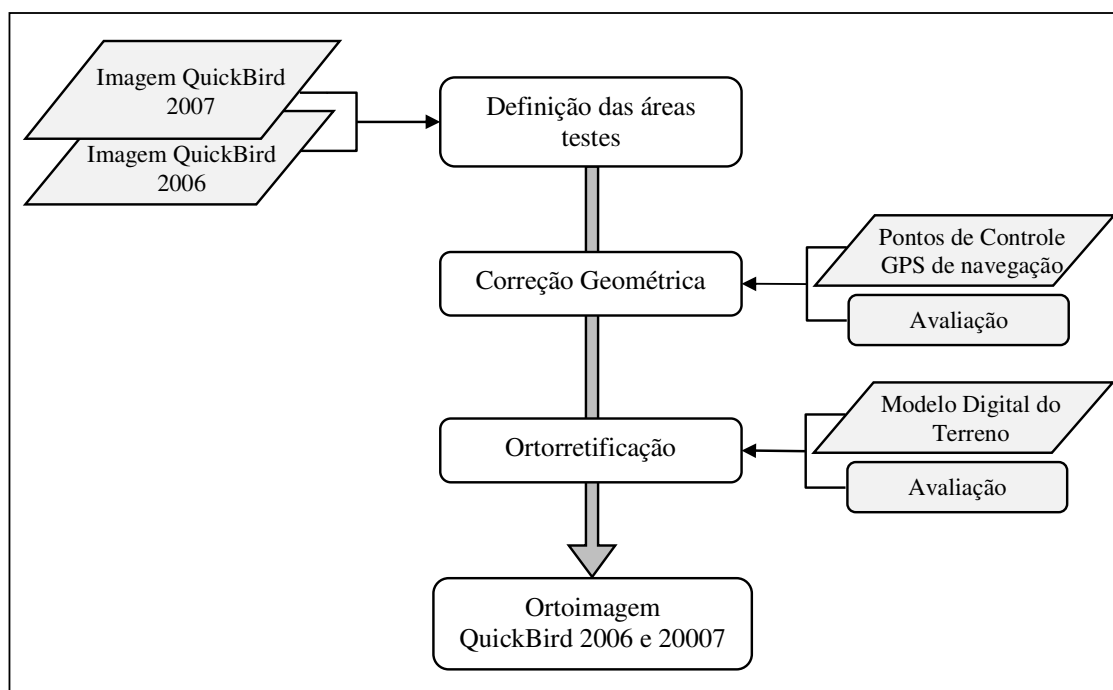


Figura 14 - Diagrama correspondente a fase inicial para tratamento geométrico das imagens QuickBird pancromáticas.

A segunda etapa da metodologia corresponde a execução de duas técnicas diferentes, uma baseada na interpretação visual e a outra utilizando a classificação automática, para o mapeamentos das glebas apresentadas na Figura 15.

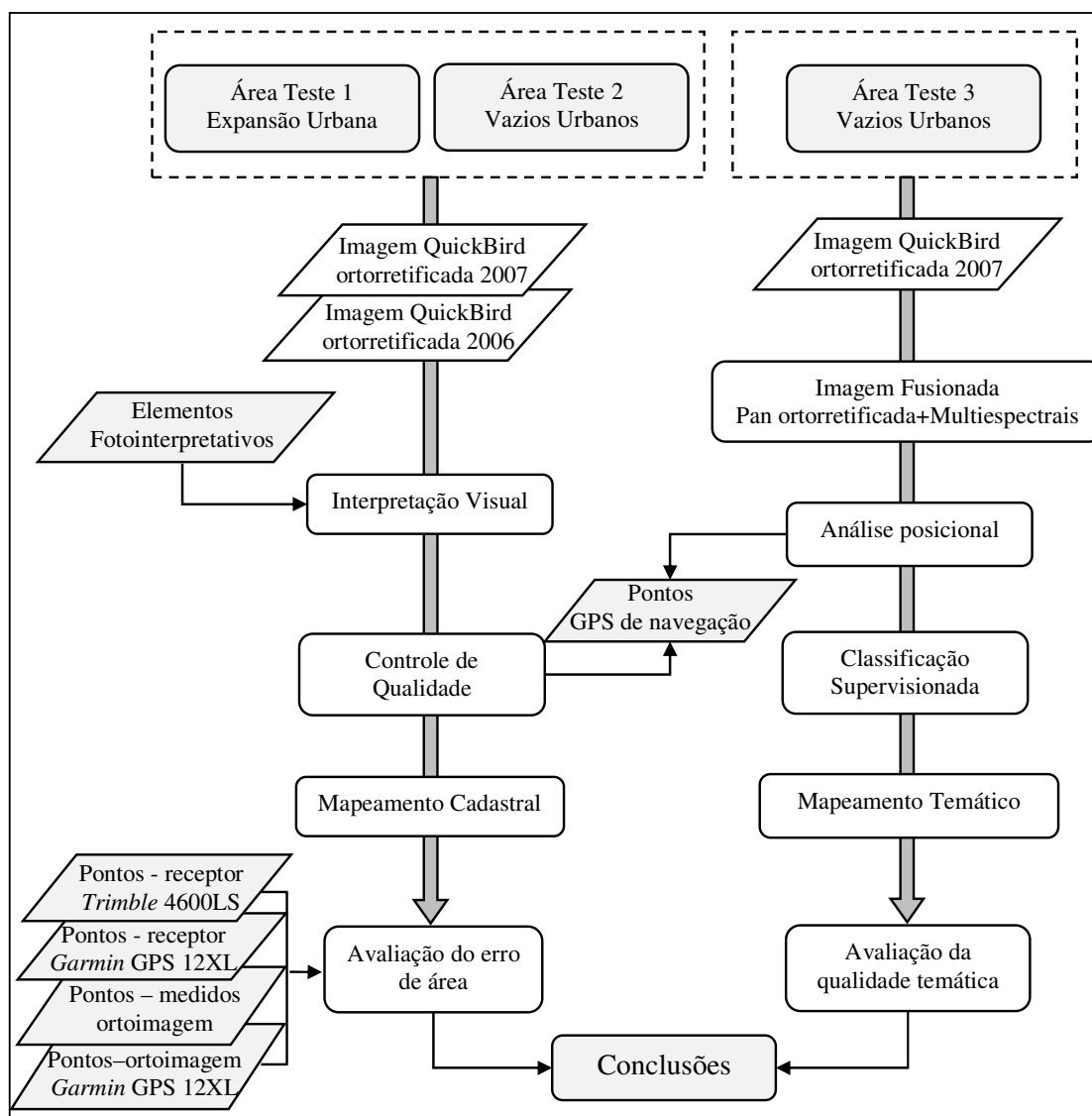


Figura 15 - Diagrama das etapas correspondentes ao mapeamento das glebas.

A seguir é apresentada uma breve explanação das principais etapas que compõem a metodologia proposta para melhor compreensão.

a) Etapa Preliminar

A primeira etapa foi a definição das três áreas testes englobando glebas localizados nas áreas de expansão e vazios urbanos.

A etapa seguinte refere-se à execução de trabalhos de campo para coleta de dados utilizando os receptores de navegação (*Garmin GPS 12XL*) e geodésico (*Trimble*

4600LS), que posteriormente foram utilizados como pontos de controle para correção geométrica da imagem e pontos de verificação para averiguar a qualidade geométrica posicional das imagens ortorretificadas.

O método de posicionamento utilizado foi o relativo estático e relativo cinemático e o pós-processamento foi executado no *Software Trimble Geomatics Office*, da *TRIMBLE NAVIGATION*.

b) Etapa de correção geométrica das imagens QuickBird tomados em 2006 e 2007.

Inicialmente foi realizado uma correção geométrica na imagem *Standard QuickBird Pancromática* utilizando 5 pontos de controle e 5 pontos de verificação (*check points*), obtidas através do pós-processamento dos dados do receptor GPS de navegação *Garmin 12 XL*.

Em seguida, com a finalidade de minimizar o erro de deslocamento devido aos efeitos topográficos que não foram corrigidos sobre a imagem *QuickBird Standard*, foi realizado o processo de ortorretificação utilizando um MDT gerado a partir das curvas de nível com equidistância de 10 metros, provenientes de uma restituição Fotogramétrica na escala 1:10000.

Para realizar o processo de ortorretificação foi utilizado o sistema LPS (*Leica Photogrammetry Suite*) que se trata de uma Estação Digital Fotogramétrica, capaz de orientar imagens de satélites *QuickBird* utilizando o modelo de correção geométrico RPC.

c) Etapa de mapeamento utilizando elementos fotointerpretativos

De posse das duas imagens ortorretificadas, desenvolveu-se a primeira metodologia proposta, que de uma visão geral, compreende um estudo detalhado utilizando a técnica de Fotointerpretação para a definição de padrões e características que podem auxiliar na identificação visual dos limites de propriedade, pois para as específicas áreas testes selecionadas os limites das divisas das propriedades não possuem uma assinatura espectral claramente definida, como por exemplo, a resposta espectral da vegetação, solo exposto ou corpos d'água, conseqüentemente a aplicação do método de classificação automática neste tipo de alvo utilizando softwares de processamentos de imagens ainda não produzem um resultado melhor que a interpretação visual.

O mapeamento cadastral consiste principalmente da utilização de pontos coletados diretamente sobre a imagem QuickBird *Standard* ortorretificada, ou seja, corrigida geometricamente, possibilitando a medição de área, ponto e distância diretamente sobre a mesma. Porém em locais cujos vértices são inacessíveis devido à presença de árvores ou obstáculos é recomendado empregar a condição de geometria por meio do prolongamento de duas retas, cuja intersecção fornecerá as coordenadas do vértice obstruído ou a obtenção de medidas indiretas de ângulo e distância. Ambos os métodos podem ser realizados com auxílio de receptores GPS de navegação, ao invés de equipamentos topográficos como teodolitos, estações totais e níveis, utilizados no transporte de coordenadas.

Após o mapeamento cadastral foi realizada a etapa de controle de qualidade do produto final e análise do erro propagado em área, para verificar se tal metodologia pode ser implantada em prefeituras com o intuito de auxiliar no cadastramento das grandes glebas urbanas.

d) Etapa de mapeamento utilizando classificação automática

A segunda metodologia compreende o mapeamento de grandes glebas irregulares localizadas dentro da malha urbana, cujos os limites são claramente delimitados por estradas asfaltadas que favorecem a utilização de métodos automáticos para a classificação, ao invés da utilização da fointerpretação.

O método de classificação supervisionada foi aplicado sobre a imagem fusionada, método este que permite explorar a informação espectral das imagens multiespectrais e agregar a informação geométrica da banda pancromática, que na maioria das vezes possui resolução geométrica melhor. Todo o processo de fusão através do método IHS foi executado no *Software* SPRING.

Para confirmar a qualidade da imagem fusionada utilizada na classificação automática, foram realizadas análises da qualidade posicional por meio de pontos de verificação obtidas com o uso do receptor GPS de navegação pós-processado e a qualidade temática foi examinada através de indicadores de acurácia temática.

4 PRÉ-PROCESSAMENTO E CORREÇÃO GEOMÉTRICA DA IMAGEM QUICKBIRD STANDARD PANCROMÁTICA

4.1 Posicionamento GPS

A utilização do sistema de coleta de dados com o receptor GPS de navegação modelo *Garmin* 12XL para determinação das coordenadas tridimensionais dos pontos através do pós-processamento das observáveis (L1/CA), tem como objetivo empregar equipamentos de baixo custo, mas que propiciem precisão compatível com a necessária para a obtenção de pontos de controle para correção geométrica da imagem e pontos de verificação para avaliação da precisão obtida nas ortoimagens QuickBird.

O pós-processamento dos dados do receptor de navegação *Garmin* GPS 12XL é proporcionado pelo emprego de dois softwares desenvolvidos por Antonio Tabernero Galán, que a partir de um *notebook* ou coletora e dois programas (ASYNC e GAR2RNX) armazenam e convertem os dados recebidos pelo receptor *Garmin* GPS 12XL em um arquivo do tipo RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) que posteriormente é processado, proporcionando melhores resultados, quando comparados com o posicionamento em tempo real que proporciona precisão posicional de aproximadamente 10 metros.

Para verificar a qualidade posicional das coordenadas tridimensionais obtidas por meio do pós-processamento das observáveis transmitidas pelo receptor GPS de navegação, foram executados trabalhos de campo utilizando o receptor GPS geodésico de simples frequência modelo *Trimble* 4600 LS para efeito de comparação.

Foram empregados dois métodos de posicionamento: posicionamento relativo estático com tempo de coleta de 30 minutos e o posicionamento relativo cinemático com tempo mínimo de aproximadamente 20 minutos para a resolução da ambigüidade. O receptor GPS *Trimble* 4600 LS foi configurado com máscara de elevação de 15 graus e taxa de coleta de dados de 15 segundos, enquanto que o receptor GPS de navegação a taxa de coleta de dados é de 1 segundo (*default* do programa ASYNC), não sendo possível a definição da máscara de elevação.

Os levantamentos de campo foram realizados na área de expansão urbana (Área Teste 1) e vazios urbanos (Área Teste 2 e 3). Sobre a Área Teste 1 e 2 foi utilizado o método de posicionamento relativo estático e foram coletados 41 pontos utilizando o receptor

de navegação. Dos 41 pontos, 23 foram coletados também com o receptor GPS Geodésico de simples frequência para fins de comparação das coordenadas. Na Área Teste 3 foi realizado posicionamento relativo cinemático utilizando ambos os equipamentos para a identificação das glebas sobre a ortoimagem gerada.

De posse dos dados levantados em campo com ambos os equipamentos, a etapa seguinte corresponde ao processamento e análise utilizando o *software Trimble Geomatics Office* versão 1.63, da *TRIMBLE NAVIGATION*. Para todos os processamentos foi escolhida a estação base PPTE pertencente à RBMC e dados de efemérides transmitidas para realização do ajustamento, pois a utilização de efemérides precisas não proporcionaria resultados significativamente melhores, visto que o comprimento da maior linha de base é de aproximadamente 5000,00 metros, caracterizando linhas de base curta.

A Tabela 6 contém um resumo das precisões obtidas nas coordenadas planimétricas UTM (E, N) e na componente altimétrica (h) obtidas no pós-processamento das observáveis coletadas com o receptor de navegação *Garmin GPS 12XL* e *Trimble 4600 LS*, referentes as Áreas Testes 1, 2 e 3. Nos Apêndices A, B, D, E e F estão listadas as coordenadas tridimensionais de todos os pontos coletados e suas respectivas precisões após o ajustamento.

Tabela 6 - Precisões dos pontos.

Precisão dos pontos levantados em campo		σ_E (m)	σ_N (m)	σ_h (m)	
Área Teste 1 Posicionamento Relativo Estático	<i>Garmin GPS 12XL</i>	Média	0,011	0,035	0,026
		Valor máximo	0,083	0,375	0,163
		Valor mínimo	0,001	0,001	0,003
	<i>Trimble 4600 LS</i>	Média	0,001	0,001	0,003
		Valor máximo	0,003	0,004	0,007
		Valor mínimo	0,001	0,001	0,001
Área Teste 2 Posicionamento Relativo Estático	<i>Garmin GPS 12XL</i>	Média	0,066	0,020	0,045
		Valor máximo	0,307	0,096	0,267
		Valor mínimo	0,024	0,007	0,015
Área Teste 3 Posicionamento Relativo cinemático	<i>Garmin GPS 12XL</i>	Média	0,031	0,033	0,088
		Valor máximo	0,124	0,068	0,22
		Valor mínimo	0,006	0,006	0,020
	<i>Trimble 4600 LS</i>	Média	0,009	0,010	0,028
		Valor máximo	0,046	0,040	0,125
		Valor mínimo	0,005	0,005	0,014

Observa-se na Tabela 5 que o receptor de navegação *Garmin 12 XL* proporcionou resultados menos precisos quando comparados com os obtidos com o receptor *Trimble 4600 LS*, o que pode estar vinculado com qualidade dos componentes internos do receptor *Garmin 12XL*.

A análise das discrepâncias dos 23 pontos da Área Teste 1 determinadas com ambos os equipamentos podem ser visualizados no gráfico da Figura 16.

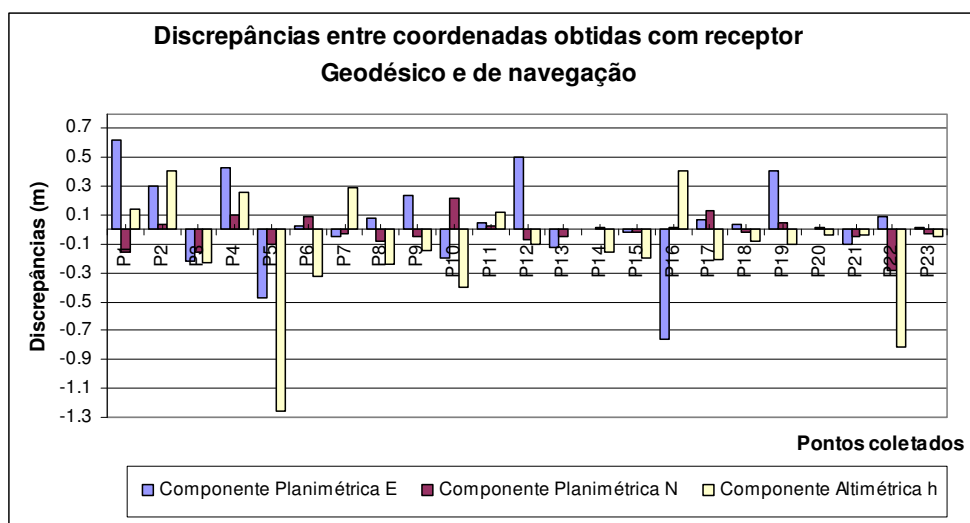


Figura 16 - Gráfico das discrepâncias entre as coordenadas obtidas pelos receptores GPS *Trimble 4600 LS* e de navegação *Garmin GPS12XL*.

Analisando o gráfico da Figura 16, verifica-se que a componente altimétrica (h) é a que possui maior discrepância, cujo valor é de 1,2 m, com relação à coordenada considerada como verdadeira, que no caso foi considerada a obtida com o receptor GPS *Trimble 4600 LS*. Na componente planimétrica E a discrepância máxima foi de 0,754 m (ponto P16). Os melhores resultados obtidos foram para a componente planimétrica N, cujas discrepâncias não ultrapassaram 0,30 m (ponto P22).

Deve-se salientar que a área de estudo compreende uma área de expansão urbana, e a maioria dos pontos escolhidos para o trabalho foram os vértices de propriedades que fisicamente são materializados por cercas, e que podem ser identificados nas imagens. Corriqueiramente, encontra-se alguns obstáculos ao redor que podem afetar a qualidade do sinal transmitido pelo satélite, esses obstáculos devem ser eliminados, porém em alguns casos como, por exemplo, as altas copas de árvores que estejam em local relativamente próximo, podem provocar efeitos de multicaminho e até mesmo perda do sinal do satélite, que interferem na qualidade do posicionamento.

Ressalta-se que os testes realizados por Camargo, Redivo e Florentino (2003) e Santos, Flor e Lins (2002) usando os programas *ASYNC* e *GAR2RNX*, foram executados em locais abertos e sem nenhuma interferência ou efeitos de multicaminhamentos, apresentaram resultados melhores que os obtidos neste trabalho para linhas de base menores

do que 20 km, utilizando o mesmo método de posicionamento, sendo o erro encontrado na posição planimétrica menor que 0,50 m.

A respeito da Área Teste 3 foi realizado o posicionamento relativo cinemático pós-processado utilizando também os dois receptores para percorrer as feições de interesse (gleba). A coleta de dados foi quase simultânea, com diferença de poucos segundos de um receptor ao outro, com a finalidade de se dispor de mesma geometria dos satélites e condições atmosféricas no levantamento. Como referência para processamento do levantamento foi utilizada a estação PPTE e o levantamento consistiu de aproximadamente 20 minutos, com linhas de bases não superiores a 1,5 km.

A respeito da Área Teste 3 foi realizado o posicionamento relativo cinemático pós-processado utilizando ambos os receptores geodésico e de navegação para percorrer as feições de interesse (gleba), considerou-se uma coleta de dados quase simultânea, com diferença de poucos segundos de um receptor ao outro, com a finalidade de se dispor de mesma geometria dos satélites e condições atmosféricas para o delineamento das glebas.

No entanto não foi possível realizar a comparação de coordenadas, uma vez foram coletadas feições lineares e não pontos. Então para verificar a qualidade do levantamento foi realizado comparação visual utilizando o *software* SPRING, através da importação e plotagem das coordenadas dos pontos que formam as linhas, em um modelo de dados do tipo MNT (Modelo Numérico do Terreno) que pode ser visualizada na Figura 17.

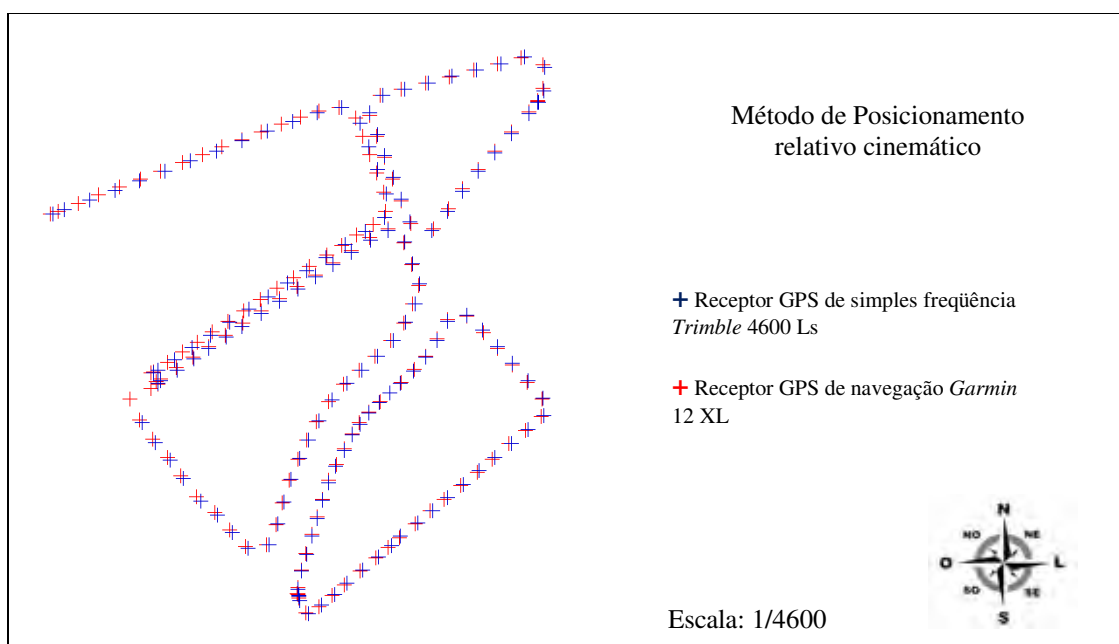


Figura 17 - Método de posicionamento relativo cinemático utilizando ambos os receptores.

A partir da Figura 17 nota-se que os dados coletados empregando o sistema baseado no receptor GPS de navegação para realização do posicionamento relativo cinemático pós-processado se mostrou amplamente adequado, proporcionando resultados com o mesmo comportamento que os apresentados pelo receptor GPS geodésico de simples frequência, sendo que a média das precisões (σ_E (m), σ_N (m) e σ_h (m)) obtidas com todos os pontos levantados correspondem à (0,031, 0,033 e 0,088) e (0,009, 0,010 e 0,028), para os receptores de navegação e geodésico, respectivamente.

Deste modo, verifica-se que a utilização deste sistema de coleta de dados formados pelo receptor de navegação *Garmin* GPS 12XL e os programas ASYNC e GAR2RNX é uma alternativa bastante promissora para a determinação de pontos de controle e de verificação para correção geométrica das imagens QuickBird, bem como para a detecção de feições lineares através do posicionamento relativo cinemático proporcionando resultados compatíveis aos produzidos com receptores de simples frequência.

4.2 Geração do Modelo Digital do Terreno a partir de Curvas de Nível

O Modelo Digital do Terreno é uma representação matemática da superfície terrestre ou topográfica, que considera para cada ponto de coordenada (X, Y) um valor de altitude ou cota (Z) no terreno. O MDT pode ser obtido através de várias técnicas e uma delas é baseada na utilização dos pontos de elevação obtidos por curvas de nível.

As curvas de nível utilizados para a geração do MDT foram adquiridos sobre a base digital do município proveniente de uma Restituição Fotogramétrica realizada no ano de 1995 na escala 1:10000, com curvas de nível mestras com equidistância de 10 metros. Foi necessário a transformação das coordenadas UTM para o Sistema de Referência WGS-84, para tornar compatível com o adotado pela imagem QuickBird, uma vez que a base digital foi elaborada utilizando como referência o Córrego Alegre e o elipsóide Internacional *Hayford*.

Antes da geração do MDT, foi realizado um minucioso trabalho de edição das curvas de nível, objetivando eliminar todas as linhas que estavam sem conexão, e os valores de altura (cota “Z”) que estavam inconsistentes, essas correções foram executadas no programa ArcView GIS 3.2.

Após corrigidos os erros da base de dados, as coordenadas das amostras ou pontos sobre as curvas de nível foram obtidas através da utilização da ferramenta de quebra de elementos lineares disponível pelo *software MicroStation SE*, que posteriormente foi exportado em um arquivo no formato texto, com os valores relativos as coordenadas planimétricas (E, N) e altimétrica (H).

A partir dos dados amostrados sobre as curvas de nível, utilizando o *software ERDAS IMAGINE 9.0*, especificamente o módulo de preparação de dados para a criação de superfícies, gerou-se a superfície totalmente automatizada, baseado no método de interpolação *Linear Rubber Sheeting*, com o espaçamento do *grid* de 10 metros.

O DTM gerado compreende uma área aproximada de 120 Km², cobrindo parte da extensão do município de Presidente Prudente. O Município de estudo possui uma altitude ortométrica média aproximada de 417 metros, cujas altitudes variam de 350 à 484 metros, caracterizando uma região de relevo pouco acidentado na maioria de sua extensão, designando uma área não montanhosa (Figura 18).

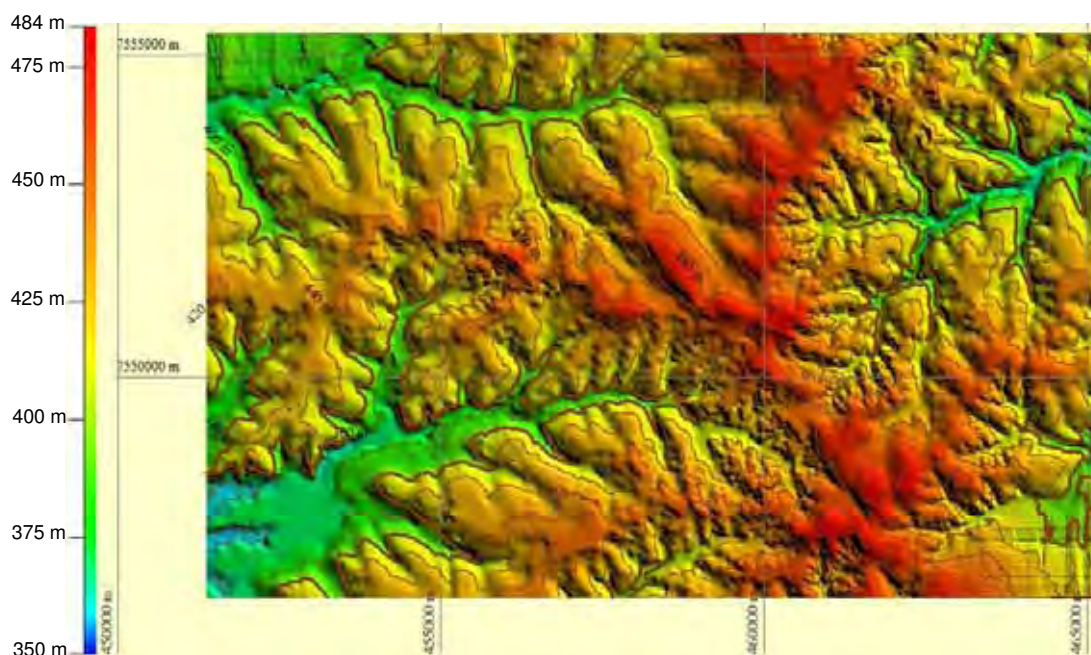


Figura 18 - Modelo Digital do Terreno gerado a partir das curvas de nível adotando o Sistema de Referencia WGS-84.

As Áreas Testes 1 e 2 estão localizadas em uma região com um relevo relativamente acentuado, enquanto que a Área Teste 3 a variação do relevo é praticamente nula.

4.2.1 Avaliação Posicional do Modelo Digital do Terreno

Para a avaliação da acurácia do MDT gerado a partir das coordenadas dos pontos sobre as curvas de nível, é necessário realizar uma breve conceituação sobre a diferença entre altitude ortométrica e geométrica, que serão empregadas para avaliação.

De acordo com Arana (2000), a altitude ortométrica (H) é dada pela distância contada sobre a linha vertical entre o ponto e o geóide que teoricamente coincide com o nível médio do mar e sua forma está diretamente relacionada ao campo de gravidade da Terra.

Em contraposição a altitude geométrica (h) é uma grandeza fornecida pelo posicionamento Geodésico medido sobre a linha normal entre o ponto e uma superfície matemática (elipsóide), cuja forma e dimensão são próximas ao do geóide, esta superfície usualmente é utilizada como superfície de referencia no posicionamento vertical (ARANA, 2000).

Conseqüentemente, o geóide e o elipsóide são superfícies não coincidentes e não paralelas, sendo a separação entre essas duas superfícies descrita como ondulação geoidal (N).

Para a análise da acurácia do MDT gerado, foi necessária a utilização do Sistema de Interpolação de Ondulação Geoidal – MAPGEO 2004, desenvolvido pelo IBGE, que possui resolução de 10' e erro médio padrão de $\pm 0,5$ metro (estimado através de comparações entre altitudes GPS e altitudes obtidas por meio do nivelamento geométrico executados pelo IBGE), para fornecer a medida da ondulação geoidal necessária para promover a conversão de altitude geométrica de cada ponto coletado com o uso do GPS para altitude ortométrica (Figura 19).

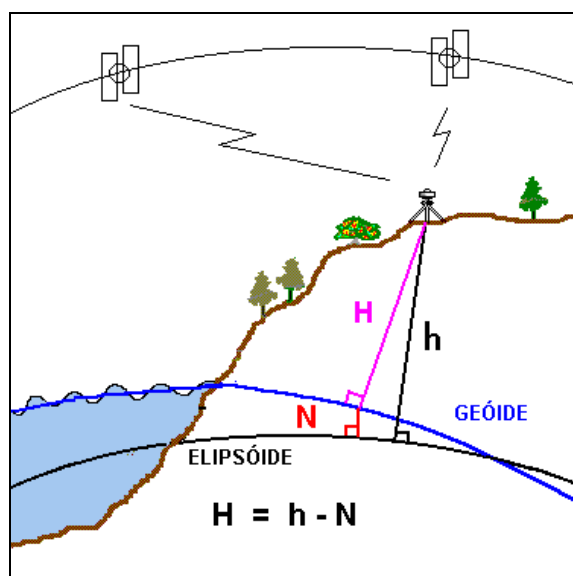


Figura 19 - Representação da determinação da altitude ortométrica através conhecimento da altitude geométrica do GPS e ondulação geoidal.

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE

A verificação da acurácia do MDT gerado deve ser realizada antes do mesmo ser utilizado para a geração das ortoimagens ou qualquer outro produto Cartográfico. Com a finalidade de facilitar o entendimento, todo o processo de análise posicional do DTM é apresentado no diagrama da Figura 20.

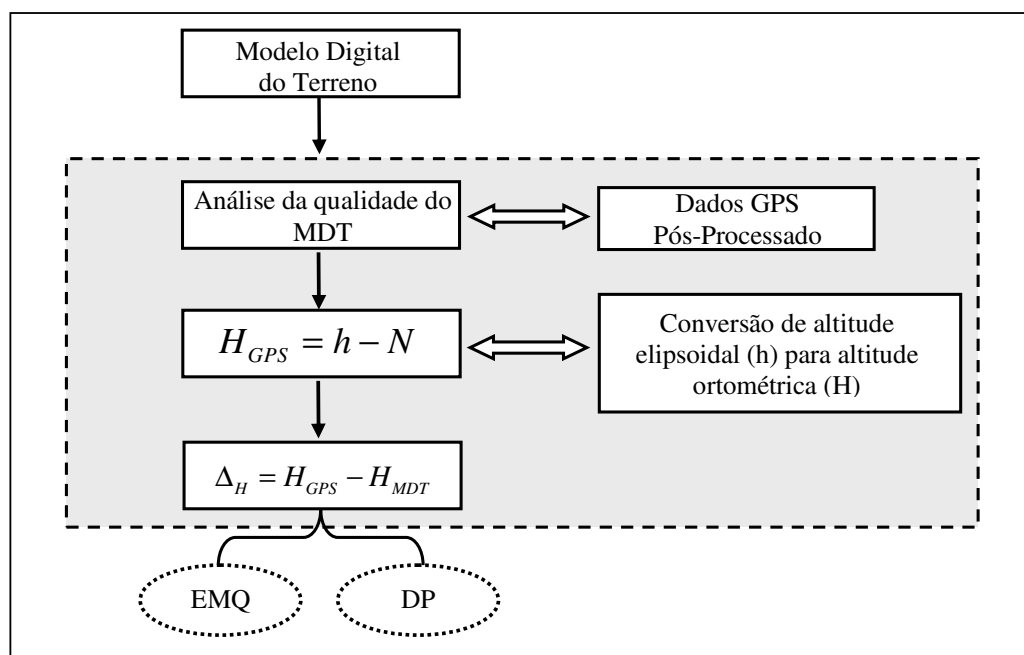


Figura 20 - Diagrama de etapas para análise da acurácia do Modelo Digital do Terreno utilizado para a ortorretificação.

De acordo com Li (1988) o Erro Médio Quadrático (EMQ) é uma medida amplamente utilizada para a análise da acurácia do MDT, no caso é dada por:

$$EMQ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_{i,GPS} - H_{i,DTM})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta H)^2}{n-1}} \quad (17)$$

sabendo que,

$H_{i,DTM}$: é o valor da altitude ortométrica medida sobre o DTM.

$H_{i,GPS}$: é o valor da altitude geométrica obtida por GPS convertida para altitude ortométrica ($H_{i,GPS} = h_{GPS} - N$).

Outra medida utilizada para avaliar o MDT é o Desvio Padrão (DP) que mede o grau de dispersão dos dados em relação a média.

$$DP(\Delta H) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta H - u)^2}{n-1}} \quad (18)$$

$$u = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta H_i}{n} \quad (19)$$

sendo,

u : é o valor da média das discrepâncias das altitudes.

A seguir são apresentados os valores do EMQ e desvio padrão obtidos através da diferença entre as altitudes ortométricas provenientes do MDT, e as correspondentes altitudes ortométricas convertidas através da altitude geométrica fornecida pelo processamento dos dados GPS.

Na Tabela 6 é apresentada as estatísticas obtidas para a Área Teste 1, utilizando 23 pontos de verificação obtidos com o pós-processamento das observáveis obtidas com os receptores GPS geodésico *Trimble* e GPS de navegação utilizando o método de posicionamento relativo estático.

Tabela 7 - Estatísticas do MDT para a Área Teste 1.

Área Teste 1	Posicionamento Relativo Estático receptor <i>Trimble</i> 4600 LS	Posicionamento Relativo Estático receptor de navegação <i>Garmin</i> GPS 12XL
Valor máximo Δ_H	5,796	6,134
Média	2,418	2,531
Desvio Padrão - σ	1,912	1,903
EMQ	3,057	3,142

Sobre a Área Teste 2 (Tabela 8), foram utilizados 18 pontos de verificação obtidos somente com receptor GPS de navegação utilizando também o método de posicionamento relativo estático.

Tabela 8 - Estatísticas do MDT para a Área Teste 2.

Área Teste 2	Posicionamento Relativo Estático utilizando receptor de navegação <i>Garmin</i> GPS 12XL
Valor máximo Δ_H	5,954
Média	2,256
Desvio Padrão - σ	2,310
EMQ	3,183

Verifica-se a partir dos valores do EMQ e DP obtidos para a Área Teste 1 e 2, que ambos os equipamentos não diferem significativamente, demonstrando que para este teste a utilização dos dados pós-processados obtidos utilizando o sistema formado pelo receptor de navegação proporciona resultados compatíveis com os gerados a partir de receptores geodésicos, quando se trata do posicionamento relativo estático.

Para a Área Teste 3 foi utilizado o método de posicionamento relativo cinemático, ao redor de quatro glebas com formato irregular. O resultado do DP e EMQ são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Medidas de acurácia do MDT para a Área Teste 3.

Área Teste 3	Posicionamento Relativo Cinemático receptor <i>Trimble</i> 4600 LS	Posicionamento Relativo Cinemático receptor de navegação <i>Garmin</i> GPS 12XL
Valor máximo Δ_H	-2,743	7,611
Média	0,126	0,753
Desvio Padrão - σ	0,981	2,870
EMQ	0,989	2,962

De acordo com a Tabela 8, os pontos levantados com o método de posicionamento relativo cinemático utilizando o receptor geodésico proporcionou resultados

melhores, com o valor do EMQ na ordem de 1 metro, enquanto que para o posicionamento realizado com o receptor de navegação é quase 3 vezes maior.

O MDT proporciona a correção da posição de um objeto sendo indispensável para a obtenção de ortofotos e ortoimagens, desta forma é possível calcular o erro de deslocamento máximo causado na posição de um objeto em função do erro de altitude decorrente do MDT utilizado.

A Tabela 10 apresenta o erro de deslocamento causado pelo MDT gerado e o ângulo de visada das imagens QuickBird (2006 e 2007).

Tabela 10 - Erro de localização causado pela diferença de altura do objeto ao MDT e o ângulo de visada.

Erro na localização	Imagem QuickBird 2007 ($\nu=3,7$)	Imagem QuickBird 2006 ($\nu=14,0$)
dL - Área Teste 1	0,397 m	1,529 m
dL - Área Teste 2	0,385 m	1,484 m
dL - Área Teste 3	0,492 m	1,898 m

Após as análises realizadas verificou-se que o MDT gerado (Figura 19), pode ser utilizado para ortorretificar a imagem QuickBird, ou seja, para corrigir cada objeto imageado para sua posição ortográfica verdadeira.

4.3 Geração da Ortoimagem QuickBird

Para a geração das ortoimagens foram inicialmente realizados trabalhos de campo para a determinação dos pontos de controle e de verificação bem definidos na imagem para que possam ser utilizados para correção geométrica das imagens, tanto a correção geométrica quanto o processo de ortorretificação foram executadas na Estação Digital Fotogramétrica - LPS (*Leica Photogrammetry Suite*).

A função racional é um modelo não-paramétrico comumente implementado na maioria dos softwares de processamento de imagens de satélites, este tipo de aproximação permite ao usuário realizar tarefas como a ortoprojeção sem a necessidade de um modelo do sensor, apenas é importado o arquivo contendo os coeficientes que relacionam as coordenadas do espaço imagem e objeto.

Para que as imagens orbitais tenham rigor geométrico e possam ser utilizadas para várias atividades, incluindo o mapeamento, é necessário realizar uma correção

geométrica, a qual visa eliminar as distorções sistemáticas sofridas no processo de aquisição dessas imagens para que sejam utilizadas para a identificação e detecção de mudanças ocorridas na superfície terrestre.

A correção geométrica foi aplicada nas imagens QuickBird *Standard* tomadas em março de 2006 e fevereiro de 2007, utilizando-se os pontos de controle e de verificação mostrados na Tabela 10.

Tabela 11 - Pontos de controle e de verificação utilizados para geração das ortoimagens QuickBird imageadas em 2006 e 2007.

	E	σ_E	N	σ_N	H - DTM
Pontos de controle (<i>Control points</i>)	464304,707	0,003	7554765,839	0,003	430,80
	463759,355	0,084	7547805,061	0,045	414,00
	453634,053	0,042	7547030,348	0,015	416,33
	454137,609	0,058	7554136,786	0,016	395,05
	457942,090	0,029	7553553,171	0,009	440,50
Pontos de verificação (<i>Check points</i>)	464627,989	0,026	7550255,945	0,014	439,83
	453558,657	0,051	7551878,782	0,014	434,51
	458169,066	0,041	7552648,382	0,007	446,38
	458133,224	0,032	7552890,355	0,011	447,87
	458566,851	0,003	7552925,212	0,004	416,68

O resultado da aplicação da correção geométrica utilizando o modelo funcional racional e os pontos de controle e de verificação, é apresentado na Tabela 12 por meio dos resíduos obtidos no espaço imagem.

Tabela 12 - Resumo do EMQ obtidos para a correção geométrica das imagens Quickbird.

Imagem Pan 2006	Resíduos x	Resíduos y	Imagem Pan 2007	Resíduos x	Resíduos y
5 pontos de controle	-0,191	0,404	5 pontos de controle	0,589	-0,064
	-0,786	0,037		-0,809	-0,422
	0,748	0,550		0,468	0,488
	0,691	-0,673		-0,865	0,480
	-0,462	-0,318		0,618	-0,481
	x: 0,617	y: 0,452		x: 0,686	y: 0,420
	EMQ _{Total} : 0,765			EMQ _{Total} : 0,804	
Imagem Pan 2006	Resíduos x	Resíduos y	Imagem Pan 2007	Resíduos x	Resíduos y
5 pontos de verificação	-0,678	-0,752	5 pontos de verificação	-0,785	0,805
	-0,158	0,251		-0,974	0,211
	-0,471	-0,594		-0,477	0,123
	-0,128	-0,345		0,398	0,484
	-0,822	-0,694		-0,915	0,829
	x: 0,529	y: 0,563		x: 0,747	y: 0,571
	EMQ _{Total} : 0,772			EMQ _{Total} : 0,940	

Além da correção geométrica aplicada para corrigir as distorções provocadas pelo movimento de rotação da Terra ou devido à pequenas variações na altitude e velocidade da plataforma (RICHARDS,1993), com o objetivo de obter maior rigor geométrico, minimizando o deslocamento causado pela relevo foi aplicado o processo de ortorretificação (implementado no *software* Erdas/LPS) utilizando o Modelo Digital do Terreno gerado.

Com base nas ortoimagens geradas, foram feitas as comparações entre as coordenadas planimétricas UTM (E, N) coletadas sobre as imagens QuickBird e suas correspondentes adquiridas sobre as Áreas Testes 1, 2 e 3, com receptor GPS de navegação com dados pós-processados, ambos no sistema de referência WGS-84.

As discrepâncias obtidas para as ortoimagens 2006 e 2007 são apresentadas na forma de gráficos, Figuras 21 e 22, respectivamente.

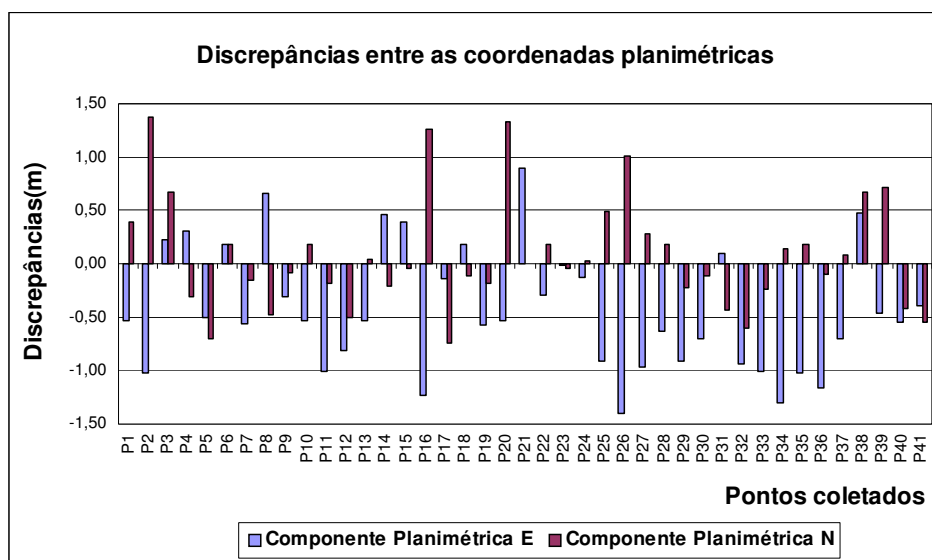


Figura 21 - Gráfico de discrepâncias das coordenadas planimétricas UTM (E, N) utilizando a imagem QuickBird ortorretificada 2006.

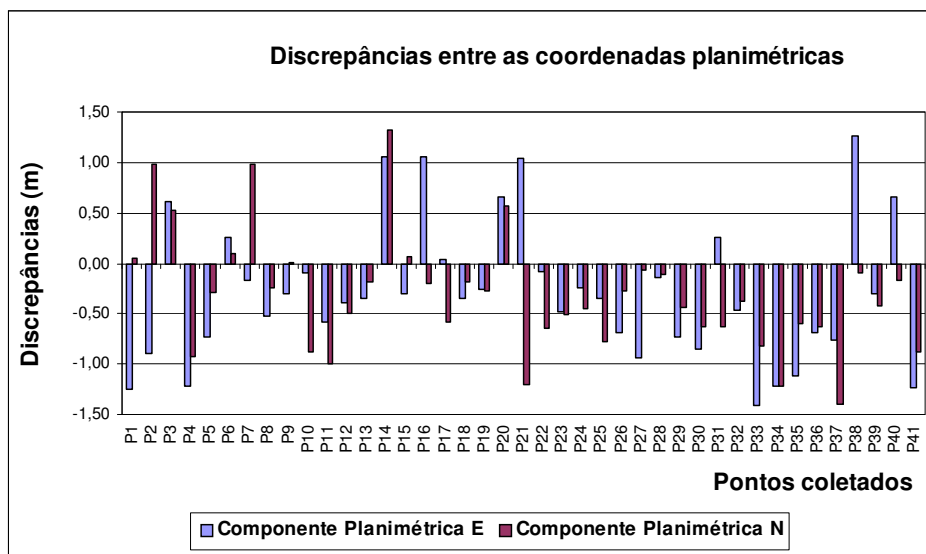


Figura 22 - Gráfico de discrepâncias das coordenadas planimétricas UTM (E, N) utilizando a imagem QuickBird ortorretificada 2007.

Para averiguar a importância da utilização dos pontos de controle e de verificação para a realização da correção geométrica e ortorretificação, efetuou-se as mesmas comparações entre as coordenadas planimétricas coletadas sobre as imagens QuickBird *Standard* 2006 e 2007 não ortorretificadas e os correspondentes pontos coletados com GPS de navegação, os resultados obtidos são apresentados graficamente e podem ser visualizados nas Figuras 23 e 24, respectivamente.

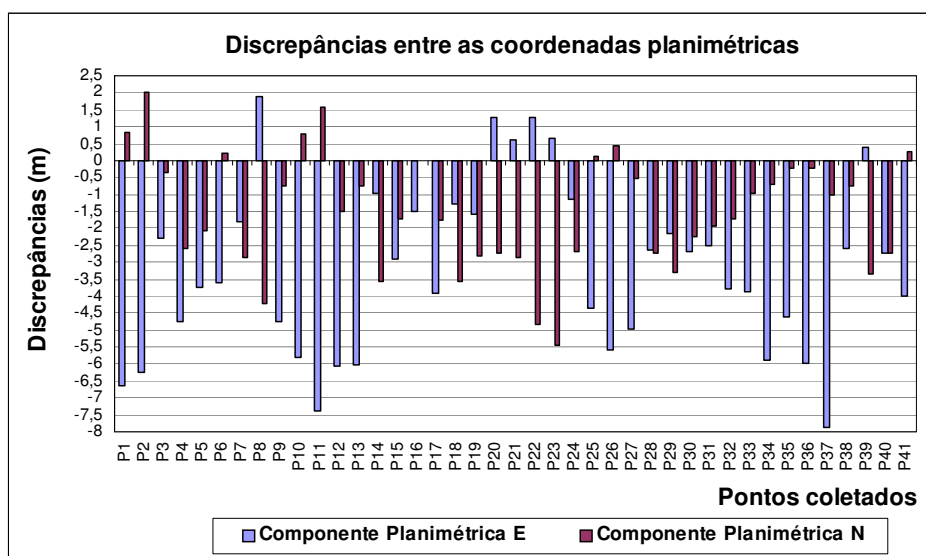


Figura 23 - Gráfico de discrepâncias das coordenadas planimétricas UTM (E, N) utilizando a imagem QuickBird *Standard* 2006 não ortorretificada.

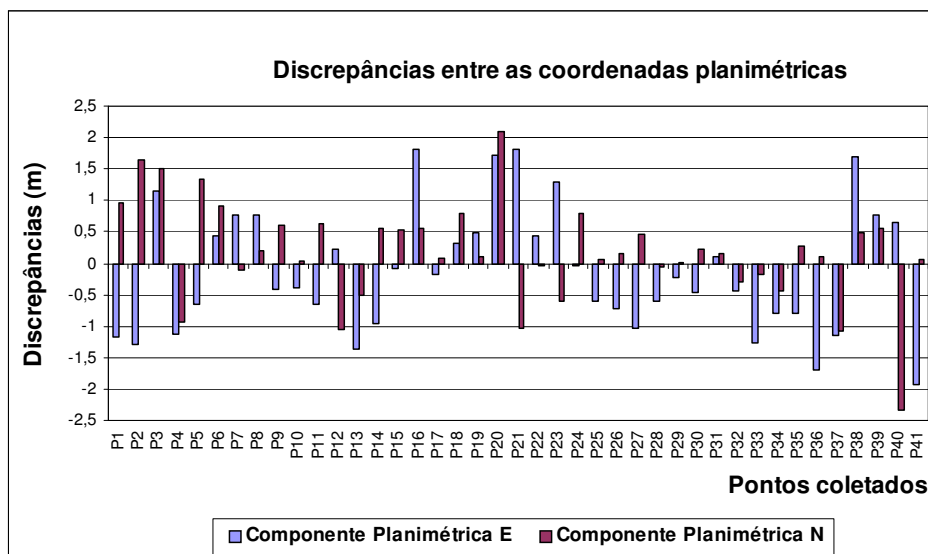


Figura 24 - Gráfico de discrepâncias das coordenadas planimétricas UTM (E, N) utilizando a imagem QuickBird *Standard* 2007 não ortorretificada.

Para facilitar a análise dos gráficos apresentados nas Figuras 21, 22, 23 e 24, as Tabelas 13 e 14 apresentam os valores do Erro Médio Quadrático e Desvio Padrão dos 41 pontos coletados sobre as Áreas Testes 1 e 2.

Tabela 13 - Análises das discrepâncias obtidas a partir da imagem Quickbird *Standard* e ortorretificada do ano de 2006.

	Imagem <i>Standard</i> 2006		Imagem ortorretificada 2006	
	\Delta E	\Delta N	\Delta E	\Delta N
Valor máximo	7,879	5,448	1,397	1,370
Média	3,232	1,543	0,437	0,073
Desvio Padrão - DP	2,496	1,722	0,578	0,526
Erro Médio Quadrático - EMQ	4,065	2,296	0,719	0,525

Tabela 14 - Análises das discrepâncias obtidas a partir da imagem Quickbird *Standard* e ortorretificada do ano de 2007.

	Imagem <i>Standard</i> 2007		Imagem ortorretificada 2007	
	\Delta E	\Delta N	\Delta E	\Delta N
Valor máximo	1,938	2,342	1,415	1,394
Média	0,137	0,177	0,298	0,317
Desvio Padrão - DP	0,992	0,809	0,688	0,585
Erro Médio Quadrático - EMQ	0,989	0,818	0,742	0,659

Verifica-se que a imagem QuickBird *Standard* tomada no ano de 2006 apresenta discrepâncias da ordem de até 7,879 metros, quando comparadas com o mesmo

ponto coletado com receptor GPS de navegação pós-processado. Após realizado o processo de ortorretificação a maior discrepância encontrada foi de 1,397 m para componente planimétrica E. Os valores do DP e EMQ obtidos para cada componente planimétrica (E, N) foram significativamente diferentes para cada imagem, sendo de 2,496 m e 1,722m, e 4,065 m e 2,296 m para a imagem *Standard* e após a aplicação da correção geométrica e ortorretificação estes passaram a ser de 0,578 m e 0,526 m, e 0,719 m e 0,525 m, respectivamente.

Com relação a imagem do ano de 2007, tem-se que a maior variação das discrepâncias obtidas é de 2,342 m para a componente N da imagem não corrigida, e para a imagem ortorretificada a maior discrepância encontrada foi de 1,415 na componente E, observa-se que a execução da correção geométrica não proporcionou resultados significativos, uma vez que, os valores do DP e EMQ foram de (0,992 m e 0,809 m) e (0,989 m e 0,818 m) para a imagem *Standard* e (0,688 e 0,585 m) e (0,742 e 0,659) para a imagem ortorretificada, demonstrando que apenas uma pequena correção foi aplicada.

Em resumo, a imagem *Standard* imageada em 2006 é geometricamente pior que a imagem *Standard* 2007, promovendo resultados mais precisos após a correção geométrica e ortorretificação, quando comparado a imagem ortorretificada 2007.

Esta grande variação apresentada pela imagem referente ao ano de 2006 pode estar vinculada com o ângulo de visada do imageamento ($\nu=14,0$), visto que a imagem de 2007 foi imageada com um ângulo na posição quase nadir ($\nu=3,7$), além de outros fatores relacionados com a determinação dos coeficientes dos polinômios RPC que foram estimados pelas empresas responsáveis para orientação das imagens.

5 IDENTIFICAÇÃO VISUAL E CONTROLE DE QUALIDADE

5.1 Elementos Fotointerpretativos para Identificação de Limites de Propriedades

Neste estudo são apresentados alguns elementos de interpretação como a Tonalidade, Cor, Forma, Textura, Padrão e Associação, que visualmente podem auxiliar na identificação das glebas (chácaras de recreação ou até mesmo pequenas propriedades rurais) a outra.

Utilizando-se chave de interpretação pelo método sistemático, são verificadas as evidências com base na existência de padrões e características que definem a presença do alvo de interesse, que no caso, são as chácaras de recreação com características físicas semelhantes as propriedades rurais.

Para a definição das propriedades rurais de pequeno porte e as chácaras recreação, foi utilizado a imagem pancromática ortorretificada bem como as imagens multiespectrais através da composição colorida (R3G2B1) (ou por meio de técnica de fusão de imagens), para elaborar a seguinte chave:

- **Tonalidade:** Os vértices limítrofes dessas propriedades são as divisões físicas entre duas propriedades, a variação abrupta dos tons de cinza entre duas propriedades evidenciando a presença de uma feição linear pode ser um indício de limite de propriedade. Porém deve-se alertar quanto à presença de cerca interna dentro da propriedade que pode levar a um diagnóstico equivocado.
- **Cor:** Este elemento é visivelmente o mais intuitivo, e no caso da composição colorida R3G2B1 temos que a vegetação está associada a cor verde, a variação dos tons de verde é a principal evidência para indicar a mudança de uma propriedade a outra. Esta variação pode ser explicada, pelo manejo aplicado em cada propriedade.

- **Forma:** As propriedades geralmente apresentam formato do polígono irregular, porém em alguns casos podem ser encontrados propriedades com formato regular principalmente quando estas são resultantes de loteamento.
- **Associação:** Uma propriedade geralmente possui como característica básica a presença de estradas para acesso a propriedade revelando ser o limite “superior” e a existência de um córrego como limite “inferior” da propriedade. Outro objeto de associação importante e facilmente identificável é a presença de edificações e construções, como por exemplo, as residências.
- **Padrão:** A existência de curvas de nível no terreno que se desencontram quando essas passam de uma propriedade a outra, podendo assim caracterizar duas propriedades distintas, uma vez que curvas de nível são caracterizadas pela continuidade em toda a propriedade.

A Figura 26 apresenta alguns elementos fotointerpretativos que compõe a chave de interpretação para identificação dos limites físicos de uma propriedade a outra.

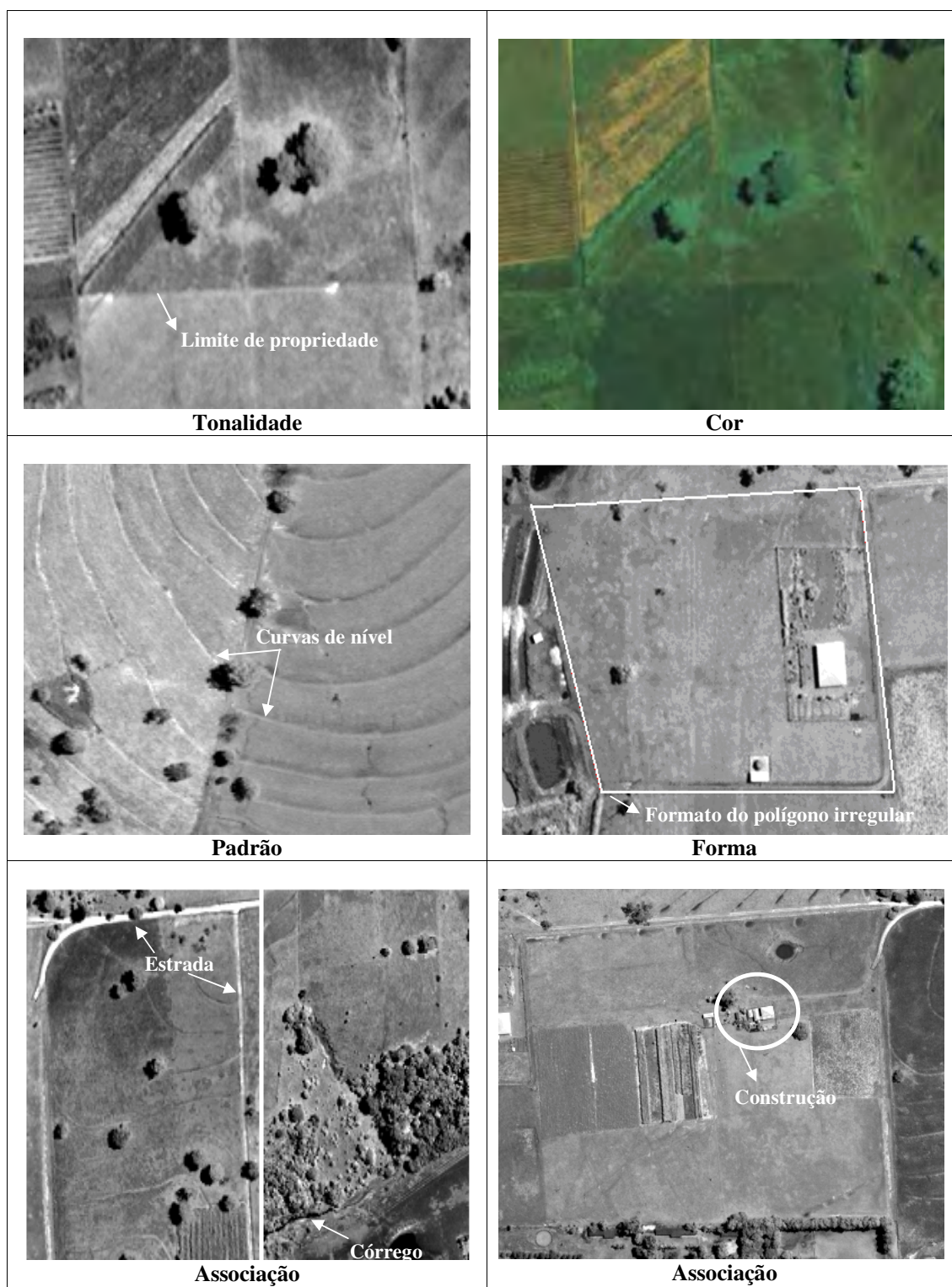


Figura 25 - Chaves de interpretação para definição de limites de propriedades.

5.2 Análises Estatísticas para Avaliação de Tendência e Precisão dos Produtos Cartográficos

Para verificar a qualidade do posicionamento obtido através da utilização da ortoimagem, realizou-se análises estatísticas de tendência e precisão das discrepâncias entre as coordenadas obtidas pelo pós-processamento das observáveis GPS recebidas pelo receptor *Garmin* GPS 12 XL e seus respectivos pontos coletados sobre as ortoimagens QuickBird de 2006 e 2007.

5.2.1 Análise de Tendência

Segundo Galo e Camargo (1994) a análise de tendência de uma carta ou ortoimagem é realizada através do *Teste t de Student*, para averiguar a presença de erros sistemáticos, a partir das discrepâncias das médias amostrais para cada componente planimétrica.

Desta forma, para cada ponto calculam-se as discrepâncias entre as coordenadas:

$$\Delta X_i = X_i - X_i^c \quad (20)$$

Em seguida, a média e variância amostral das discrepâncias:

$$\overline{\Delta X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i \quad (21)$$

$$S_{\Delta X}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \overline{\Delta X})^2 \quad (22)$$

Formulação do teste de hipótese:

$$\begin{aligned} H_0: \overline{\Delta X} &= 0 \\ H_1: \overline{\Delta X} &\neq 0 \end{aligned} \quad (23)$$

E por fim calcula-se a estatística amostral τ_x , para análise do teste de hipótese:

$$\tau_x = \frac{\Delta X}{S_{\Delta x}} \cdot n^{1/2} \quad (24)$$

caso:

O valor de $|\tau_x|$ calculado for inferior ao valor $\tau_{(n-1, \alpha/2)}$ tabelado, a hipótese nula é aceita, ou seja, a carta é livre de tendência a um nível de significância α e com $(n - 1)$ graus de liberdade.

5.2.2 Análise da Precisão

Decreto-lei nº 89.817, publicado pelo Diário Oficial da União em 20 de junho de 1984, estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, apresentados especificamente nos artigos 8 a 11 que tratam basicamente na classificação de uma carta quanto à exatidão (Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC).

Para a avaliação da precisão é necessário realizar a comparação entre o desvio padrão das discrepâncias como o Erro Padrão (EP) especificado pelo PEC (GALO e CAMARGO, 1994; NOGUEIRA, 2003).

A formulação do Teste de Hipótese:

$$\begin{aligned} H_0: S_{\Delta X}^2 &= \sigma_x^2 \\ H_i: S_{\Delta X}^2 &> \sigma_x^2 \end{aligned} \quad (25)$$

Cálculo da estatística Qui-Quadrado amostral:

$$\chi_x^2 = (n-1) \cdot \frac{S_{\Delta X}^2}{\sigma_x^2} \quad (26)$$

E por fim, análise do teste de hipótese:

se:

O valor de χ^2_x calculado for inferior ao valor $\chi^2_{(n-1,\alpha)}$ tabelado, a hipótese nula não é rejeitada, concluindo que a carta atende a precisão cartográfica preestabelecida para este classe.

5.2.3 Análises de Tendência e Precisão da Ortoimagem QuickBird

Segundo Nogueira (2003) a escolha da amostra é fator essencial para a avaliação da qualidade posicional de um produto cartográfico, pois a variação da amostra e sua distribuição sobre o produto pode proporcionar resultados diferentes para o mesmo. Para a avaliação da ortomagem QuickBird (2006 e 2007) foram empregados um total de 41 pontos distribuídos sobre as áreas testes, para efetuar as análises estatísticas de tendência e precisão.

A seguir são apresentadas os resultados das análises de tendência e precisão das ortomagens geradas:

a) Imagem QuickBird 2006 ortorretificada

A primeira análise realizada refere-se a estatística de tendência considerando o intervalo de confiança de 90% e 41 pontos coletados sobre a Área Teste 1 e 2, totalizando 41 pontos examinados.

Tabela 15 - Análise de tendência da ortomagem QuickBird referente a data de 2006.

Componente Planimétrica			
Análise de Tendência	$\tau_{(40;0,05)}$	1,684	
	τ_E	-4,846	
	τ_N	0,883	
	Análise	$ t_E > \tau_{(40;0,05)}$	
		$ t_N < \tau_{(40;0,05)}$	
Componente	E	Apresenta tendência	
	N	Não apresenta tendência	

As Tabelas 16, 17, 18 e 19 são referentes a análise da precisão considerando o intervalo de confiança de 90% e 40 graus de liberdade, efetuados para escala 1:10000, 1:5000, 1:3000 e 1:2000, respectivamente.

Tabela 16 - Resultado da análise de precisão da ortoimagem QuickBird 2006 para escala 1:10000.

Componente Planimétrica			
Análise de Precisão	$\chi_{(40;10\%)}$		51,81
	χ_E^2	Classe A	2,970
		Classe B	1,069
		Classe C	0,742
	χ_N^2	Classe A	2,459
		Classe B	0,885
		Classe C	0,615
Classe obtida		A	

Tabela 17 - Resultado da análise de precisão da ortoimagem QuickBird 2006 para escala 1:5000.

Componente Planimétrica			
Análise de Precisão	$\chi_{(40;10\%)}$		51,81
	χ_E^2	Classe A	11,879
		Classe B	4,276
		Classe C	2,459
	χ_N^2	Classe A	9,837
		Classe B	3,541
		Classe C	2,459
Classe obtida		A	

Tabela 18 - Resultado da análise de precisão da ortoimagem QuickBird 2006 para escala 1:3000.

Componente Planimétrica			
Análise de Precisão	$\chi_{(40;10\%)}$		51,81
	χ_E^2	Classe A	32,996
		Classe B	11,879
		Classe C	8,249
	χ_N^2	Classe A	27,326
		Classe B	9,837
		Classe C	6,832
Classe obtida		A	

Tabela 19 - Resultado da análise de precisão da ortoimagem QuickBird 2006 para escala 1:2000.

Componente Planimétrica			
Análise de Precisão	$\chi_{(40;10\%)}$		51,81
	χ_E^2	Classe A	72,202
		Classe B	25,992
		Classe C	18,051
	χ_N^2	Classe A	61,571
		Classe B	22,165
		Classe C	15,392
Classe obtida		B	

Analisando-se a Tabela 15 que apresenta os resultados para análise de tendência conclui-se, com base no teste estatístico, que a componente planimétrica N não apresenta tendência, ao passo que na componente planimétrica E detectou-se tendência.

Com relação as análises de precisão a partir dos resultados mostrados nas Tabelas 16 a 19 o produto enquadra-se na classe A para as componentes planimétricas (E, N) nas escalas 1:10000, 1:5000 e 1:3000, e na classe B para escala 1:2000, a componente altimétrica não foi avaliada visto que não é interesse deste estudo.

b) Imagem QuickBird 2007 ortorretificada

O resultado da análise de tendência com intervalo de confiança de 90% e 40 graus de liberdade é apresentado na Tabela 20.

Tabela 20 - Análise de tendência da ortoimagem QuickBird referente a data de 2007.

Componente Planimétrica			
Análise de Tendência	$\tau_{(40;0,05)}$	1,684	
	τ_E	-2,773	
	τ_N	-3,470	
	Análise	$ t_E < \tau_{(40;0,05)}$	
		$ t_N < \tau_{(40;0,05)}$	
	Componente	E	Apresenta tendência
N		Apresenta tendência	

Os resultados das análises de precisão considerando o intervalo de confiança de 90% e 40 graus de liberdade, efetuados para as escalas 1:10000, 1:5000, 1:3000 e 1:2000, podem ser visualizados nas Tabelas 21, 22, 23 e 24, respectivamente.

Tabela 21 - Resultado da análise de precisão da ortoimagem QuickBird 2007 para escala 1:10000.

Componente Planimétrica			
Análise de Tendência	$\chi_{(40;10\%)}$	51,81	
	χ_E^2	Classe A	4,208
		Classe B	1,515
		Classe C	1,052
	χ_N^2	Classe A	3,042
		Classe B	1,095
		Classe C	0,761
	Classe obtida		A

Tabela 22 - Resultado da análise de precisão da ortoimagem QuickBird 2007 para escala 1:5000.

Componente Planimétrica			
Análise de Tendência	$\chi_{(40;10\%)}$		51,81
	χ_E^2	Classe A	16,830
		Classe B	6,059
		Classe C	3,042
	χ_N^2	Classe A	12,168
		Classe B	4,380
		Classe C	3,042
	Classe obtida		

Tabela 23 - Resultado da análise de precisão da ortoimagem QuickBird 2007 para escala 1:3000.

Componente Planimétrica			
Análise de Tendência	$\chi_{(40;10\%)}$		51,81
	χ_E^2	Classe A	46,750
		Classe B	16,830
		Classe C	11,688
	χ_N^2	Classe A	33,800
		Classe B	12,168
		Classe C	8,450
	Classe obtida		

Tabela 24 - Resultado da análise de precisão da ortoimagem QuickBird 2007 para escala 1:2000.

Componente Planimétrica			
Análise de Tendência	$\chi_{(40;10\%)}$		51,81
	χ_E^2	Classe A	105,188
		Classe B	27,378
		Classe C	26,297
	χ_N^2	Classe A	76,050
		Classe B	27,378
		Classe C	19,013
	Classe obtida		

Analisando os resultados obtidos para a ortoimagem 2007 mostrada na Tabela 20, verifica-se que foram detectadas tendências em ambas as componentes planimétricas (E, N).

Os resultados das análises de precisão foram análogos aos obtidos para a ortoimagem 2006, ou seja, para as escalas 1:10000, 1:5000 e 1:3000 o produto se enquadra na classe A, enquanto que para a escala 1:2000 obteve-se um produto na classe B, segundo o Padrão de Exatidão Cartográfico estabelecido no Brasil.

6 ANÁLISE DO ERRO OBTIDO EM ÁREA ATRAVÉS DO USO DA IMAGEM QUICKBIRD ORTORRETIFICADA

6.1 Técnica de Propagação de Variância-Covariância aplicada no Cálculo da Área

A técnica de propagação é um dos métodos empregados para se obter as características estocásticas das variáveis funcionalmente dependentes, a partir do conhecimento da relação funcional e das características estocásticas das variáveis envolvidas no modelo.

Normalmente são empregadas três tipos: propagação de distribuição (função densidade ()), propagação de média (μ) e propagação de variância-covariância (MVC ()), sendo o último muito empregado na Geodésia, Topografia, Fotogrametria e áreas afins.

A propagação de variância-covariância tem como objetivo de proporcionar as variâncias das quantidades calculadas, bem como a eventual correlação entre elas.

No caso da estimação da variância da área de uma poligonal (gleba) e realizada a propagação utilizando a formulação matemática do método de Gauss, que é dada por:

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n y_i (x_{i+1} - x_{i-1}) = \frac{1}{2} \{ [y_1(x_2 - x_n) + y_2(x_3 - x_1) + y_3(x_4 - x_2) + \dots + y_n(x_1 - x_{n-1})] \} \quad (27)$$

A aplicação da lei de propagação de variância resulta (GEMAEL, 1994):

$$\sum_A = D \sum_{(x,y)} D^T \quad (28)$$

desenvolvendo na forma matricial, temos:

$$\sum_A = \sigma_A^2 = \begin{bmatrix} \frac{\partial A}{\partial x_1} & \frac{\partial A}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial A}{\partial x_n} & \frac{\partial A}{\partial y_1} & \frac{\partial A}{\partial y_2} & \dots & \frac{\partial A}{\partial y_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_{x_1}^2 & \sigma_{x_{12}} & \dots & \sigma_{x_{1n}} \\ \sigma_{x_{21}} & \dots & \sigma_{x_n}^2 & \sigma_{x_{2n}} \\ \dots & \dots & \sigma_{y_1}^2 & \dots \\ \sigma_{x_{n1}} & \sigma_{x_{n2}} & \dots & \sigma_{y_n}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x_1} \\ \frac{\partial A}{\partial x_2} \\ \dots \\ \frac{\partial A}{\partial x_n} \\ \frac{\partial A}{\partial y_1} \\ \frac{\partial A}{\partial y_2} \\ \dots \\ \frac{\partial A}{\partial y_n} \end{bmatrix} \quad (29)$$

Para o eixo x as derivadas parciais são:

$$\frac{\partial A}{\partial x_1} = \frac{(y_n - y_2)}{2} \quad \frac{\partial A}{\partial x_2} = \frac{(y_1 - y_3)}{2} \quad \dots \quad \frac{\partial A}{\partial x_n} = \frac{(y_{n-1} - y_1)}{2} \quad (30)$$

Para o eixo y as derivadas parciais são:

$$\frac{\partial A}{\partial y_1} = \frac{(x_2 - x_n)}{2} \quad \frac{\partial A}{\partial y_2} = \frac{(x_3 - x_1)}{2} \quad \dots \quad \frac{\partial A}{\partial y_n} = \frac{(x_1 - x_{n-1})}{2} \quad (31)$$

6.2 Análise Posicional Utilizando a Técnica de Propagação de Variância-Covariância

Considerando um caso específico, através da aplicação da técnica de propagação, é possível determinar a precisão (σ) mínima requerida para a determinação das coordenadas (E, N) a ser alcançada nos levantamentos.

Vale ressaltar que é imprescindível a utilização das dimensões do menor lote urbano considerado legal pela Lei Federal de parcelamento do solo urbano, respeitando o Código Civil de modo a atender a todos os outros lotes urbanos.

A Lei N° 6.766, de 19 de dezembro de 1979, trata da questão do parcelamento do solo urbano, sendo especificamente no artigo 4 do Capítulo II descrito os principais requisitos urbanísticos para fins de loteamento.

Os lotes terão área mínima de 125 m² (cento e vinte e cinco metros quadrados) e frente mínima de 5m (cinco metros), salvo quando a legislação estadual ou municipal determinar maiores exigências ou quando o loteamento se destinar à urbanização específica ou edificação de conjuntos habitacionais de interesse social, previamente aprovados pelos órgãos públicos competentes;

Levando em consideração o Código Civil, que desde 1916 através da lei 3.071, descreve no artigo 1136 as disposições gerais sobre a compra e venda:

Art. 1.136. Se, na venda de um imóvel, se estipular o preço por medida de extensão, ou se determinar a respectiva área, e esta não corresponder, em qualquer dos casos, às dimensões dadas, o comprador terá direito de exigir o complemento da área, e não sendo isso possível, o de reclamar a rescisão do contrato ou abatimento proporcional do preço. Não lhe cabe, porém, esse direito, se o imóvel foi vendido como coisa certa e discriminada, tendo sido apenas enunciativa a referência às suas dimensões.

Parágrafo único. Presume-se que a referência às dimensões foi simplesmente enunciativa, quando a diferença encontrada não exceder de um vinte avos da extensão total enunciada.

E até os dias atuais vale a mesma condição estabelecida, por meio da Lei 10.406, de 10 de janeiro de 2002, (§ 1º do artigo 500), que define:

§ 1º Presume-se que a referência às dimensões foi simplesmente enunciativa, quando a diferença encontrada não exceder de um vigésimo da área total enunciada, ressalvado ao comprador o direito de provar que, em tais circunstâncias, não teria realizado o negócio.

A questão delineada pode-ser resolvida utilizando as dimensões do menor lote urbano, disposto de forma regular e considerando os pares de coordenadas (0,0), (0,5), (25,5), (25,0), totalizando 125 m² de área e frente mínima de 5 metros (Figura 26).



Figura 26 - Representação do menor lote urbano definido por Lei.

Considerando que os desvios padrão das componentes x e y dos vértices do polígono são iguais e não correlacionadas, pode-se escrever:

$$\sigma_{x_n} = \sigma_{y_n} = \sigma \quad (32)$$

logo, aplicando a lei de propagação de variância-covariância tem-se:

$$\sigma_A^2 = \left[\left(\frac{\partial_A}{\partial_{x_1}} \right)^2 + \left(\frac{\partial_A}{\partial_{x_2}} \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial_A}{\partial_{x_n}} \right)^2 \right] \sigma + \left[\left(\frac{\partial_A}{\partial_{y_1}} \right)^2 + \left(\frac{\partial_A}{\partial_{y_2}} \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial_A}{\partial_{y_n}} \right)^2 \right] \sigma \quad (33)$$

resultando em:

$$\sigma_A^2 = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial_A}{\partial_{x_i}} \right)^2 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial_A}{\partial_{y_i}} \right)^2 \right] \sigma \quad (34)$$

$$\sigma = \frac{\sigma_A^2}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial_A}{\partial_{x_i}} \right)^2 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial_A}{\partial_{y_i}} \right)^2} \quad (35)$$

A partir da Equação 35 é possível calcular o valor do desvio padrão máximo a ser obtido, para atender aos requisitos estabelecidos pelo Código Civil conjuntamente com a Lei Federal de parcelamento do solo urbano.

Deste modo, os valores atribuídos a cada componente da Equação (35), considerando as dimensões do menor lote urbano são:

- O valor do somatório das derivadas parciais relativas ao eixo X.

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial A}{\partial x_i} \right)^2 = 625m^2$$

- O valor do somatório das derivadas parciais relativas ao eixo Y.

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial A}{\partial y_i} \right)^2 = 25m^2$$

- Valor do erro máximo a ser aceito no cálculo da área do menor lote urbano considerado (Figura 26).

$$\sigma_A = 6,25m^2$$

Levando em consideração as seguintes situações, tem-se:

- 1σ (68,26%) de probabilidade:

$$\sigma = \frac{(6,25m^2)^2}{625m^2 + 25m^2} = 0,06m^2$$

- 2σ (95,4%) de probabilidade:

$$\sigma = \frac{(3,125m^2)^2}{625m^2 + 25m^2} = 0,015m^2$$

- 3σ (99,73%) de probabilidade:

$$\sigma = \frac{(2,083m^2)^2}{625m^2 + 25m^2} = 0,007m^2$$

Conclui-se que, para um imóvel cujas dimensões se referem ao menor lote urbano, com precisões iguais para cada componente planimétrica ($\sigma_{x_n} = \sigma_{y_n} = \sigma$), resulta para cada componente um erro máximo tolerável igual à:

- 0,245m para probabilidade de 1σ .
- 0,123m para probabilidade de 2σ .
- 0,082m para probabilidade de 3σ .

6.2 Cálculo de Área e Propagação de Variância-Covariância das Glebas Urbanas

Para a avaliação o potencial da utilização da imagem QuickBird ortorretificada para a execução do cadastramento físico destas glebas, baseado no critério estabelecido pelo Código Civil, na qual a discrepância entre o valor de área obtida não deve ultrapassar 5% do valor verdadeiro.

Considerou-se que as medidas utilizadas para o cálculo de propagação de erros, são observações diretas não correlacionadas. O resultado da variância e desvio padrão, obtido para o cálculo da área de cada gleba em função do desvio padrão de cada componente planimétrica (x, y), é apresentado a seguir:

$$\sigma_A^2 = \left(\frac{\partial_A}{\partial_{x_1}}\right)^2 \sigma_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial_A}{\partial_{x_2}}\right)^2 \sigma_{x_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial_A}{\partial_{x_n}}\right)^2 \sigma_{x_n}^2 + \left(\frac{\partial_A}{\partial_{y_1}}\right)^2 \sigma_{y_1}^2 + \left(\frac{\partial_A}{\partial_{y_2}}\right)^2 \sigma_{y_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial_A}{\partial_{y_n}}\right)^2 \sigma_{y_n}^2 \quad (36)$$

$$\sigma_A = \sqrt{\left(\frac{\partial_A}{\partial_{x_1}}\right)^2 \sigma_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial_A}{\partial_{x_2}}\right)^2 \sigma_{x_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial_A}{\partial_{x_n}}\right)^2 \sigma_{x_n}^2 + \left(\frac{\partial_A}{\partial_{y_1}}\right)^2 \sigma_{y_1}^2 + \left(\frac{\partial_A}{\partial_{y_2}}\right)^2 \sigma_{y_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial_A}{\partial_{y_n}}\right)^2 \sigma_{y_n}^2} \quad (37)$$

As quantidades σ_A^2 e σ_A representam a dispersão estimada na determinação da área de um polígono (gleba), com base nas medidas das coordenadas e precisões planimétricas (E, N), obtidas diretamente sobre a imagem ortorretificada ou por técnicas convencionais de levantamento e posicionamento por satélite.

Baseado na condição, em que os desvios padrão das componentes planimétricas (E, N) são independentes e não correlacionadas, o valor da área obtido com o receptor geodésico de simples frequência foi considerado como sendo o valor correto (verdadeiro), para a comparação das medidas de área obtidas com o receptor de navegação e sobre a imagem QuickBird ortorretificada, bem como na integração entre essas duas medidas (GPS navegação/ortoimagem).

Para realização desta comparação foram selecionados quatro glebas localizadas sobre a Área Teste 1 (Figura 27).

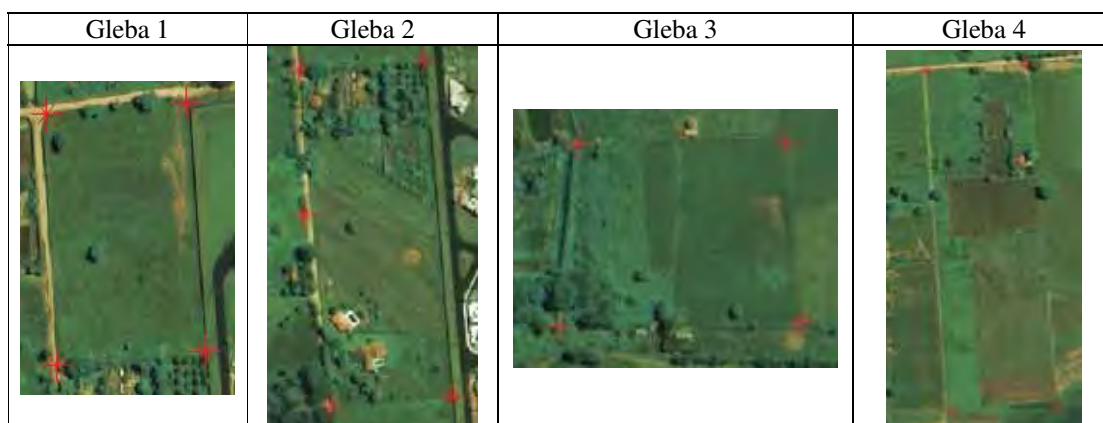


Figura 27 - Propriedades escolhidas para a análise do cálculo de área e propagação de erros.

Através das Equações 27 e 37 foram calculados os valores respectivos à área e o erro propagado, adotando os desvios padrão resultantes do processamento GPS, e no caso das medidas sobre a imagem, os desvios padrão adotados foram de 1,415 m e 1,394 m, visto que estes foram as piores discrepâncias encontradas para as componentes E e N, respectivamente.

Nas Tabelas 25, 26, 27 e 28 são apresentados os resultados das áreas calculadas e a precisão (1σ) de cada uma, foram adotados três casos distintos, utilizando somente pontos coletados com receptor de navegação, pontos lidos sobre a imagem e a integração entre ambas as medidas.

Tabela 25 - Análise do valor de área e propagação de erros – Gleba 1.

Gleba 1	E (m)	N (m)	σ E (m)	σ N (m)
Receptor <i>Trimble</i> 4600LS	455564,590	7550852,346	0,001	0,001
	455662,408	7550858,540	0,001	0,001
	455675,218	7550704,801	0,001	0,001
	455571,085	7550696,641	0,001	0,002
Receptor <i>Garmin</i> GPS 12XL	455563,968	7550852,502	0,002	0,002
	455662,110	7550858,508	0,003	0,004
	455675,439	7550704,953	0,002	0,003
	455570,661	7550696,542	0,003	0,003
Ortoimagem/2007	455565,212	7550852,457	1,415	1,394
	455663,006	7550857,528	1,415	1,394
	455674,832	7550704,427	1,415	1,394
	455571,876	7550697,463	1,415	1,394
Receptor <i>Garmin</i> GPS 12XL e Ortoimagem/2007	455563,968	7550852,502	0,002	0,002
	455663,006	7550857,528	1,415	1,394
	455675,439	7550704,953	0,002	0,003
	455571,876	7550697,463	1,415	1,394
	Área (m ²)	Desvio Padrão (1 σ) (m ²)	Discrepâncias (m ²)	
Receptor <i>Trimble</i> 4600LS Considerando erro de 5% de área = 784,620m ²	15692,407	0,208	_____	
Receptor <i>Garmin</i> GPS 12XL	15773,860	0,542	81,453	
Ortoimagem/2007	15518,150	259,482	174,257	
Receptor <i>Garmin</i> GPS 12XL e Ortoimagem/2007	15644,373	184,033	48,034	

A partir da Tabela 25, nota-se que as discrepâncias obtidas em área para todos os casos foram inferiores ao erro de 5% em função do valor considerado verdadeiro (receptor *Trimble* 4600LS), sendo que a maior discrepância encontrada foi de 174,257 m² com desvio padrão de \pm 259,482 m², utilizando somente pontos lidos sobre a ortofotografia, a inserção de pontos coletados com receptor de navegação resultou em um valor menos discrepante de 48,034 m² e desvio padrão de \pm 184,033 m².

A respeito do uso do receptor de navegação, obteve-se uma discrepâncias de 81,453 m² e com o menor valor desvio padrão (\pm 0,542 m²) encontrado.

Tabela 26 - Análise do valor de área e propagação de erros – Gleba 2.

Gleba 2	E (m)	N (m)	σ E (m)	σ N (m)
Receptor <i>Trimble</i> 4600LS	455675,218	7550704,801	0,001	0,001
	455698,523	7550423,352	0,003	0,004
	455597,645	7550414,393	0,002	0,003
	455571,085	7550696,641	0,001	0,002
Receptor <i>Garmin</i> GPS 12XL	455675,439	7550704,953	0,002	0,003
	455698,495	7550423,261	0,002	0,002
	455598,122	7550414,493	0,004	0,004
	455570,661	7550696,542	0,003	0,003
Ortoimagem/2007	455674,832	7550704,427	1,415	1,394
	455698,233	7550423,169	1,415	1,394
	455598,857	7550414,776	1,415	1,394
	455571,876	7550697,463	1,415	1,394
Receptor <i>Garmin</i> GPS 12XL e Ortoimagem/2007	455675,439	7550704,953	0,002	0,003
	455698,233	7550423,169	1,415	1,394
	455598,122	7550414,493	0,004	0,004
	455571,876	7550697,463	1,415	1,394
	Área (m ²)	Desvio Padrão (1 σ) (m ²)	Discrepâncias (m ²)	
Receptor <i>Trimble</i> 4600LS Adotando erro de 5% de área =1455,222	29104,431	0,612	_____	
Receptor <i>Garmin</i> GPS 12XL	29129,965	0,877	25,534	
Ortoimagem/2007	28719,459	424,774	384,972	
Receptor <i>Garmin</i> GPS 12XL e Ortoimagem/2007	28954,622	300,449	149,809	

Observando os resultados referentes à segunda gleba, verifica-se que somente a utilização de medidas coletados sobre a imagem proporcionou resultado satisfatório, com discrepância de 384,972 m² e desvio padrão de \pm 424,774 m². Por outro lado, a utilização conjunta de dados coletados com o receptor de navegação a discrepância em área obtida foi de 149,809m² com desvio padrão de \pm 300,449 m², revelando um resultado mais adequado.

Com relação ao uso dos dados do receptor de navegação, verifica-se que para esta gleba, o resultado obtido em área foi o mais próximo do estimado com o receptor de geodésico de simples frequência.

Tabela 27 - Análise do valor de área e propagação de erros – Gleba 3.

Gleba 3	E (m)	N (m)	σ E (m)	σ N (m)
Receptor <i>Trimble 4600LS</i>	454678,267	7550637,393	0,001	0,001
	454687,959	7550511,582	0,001	0,001
	454518,310	7550509,940	0,001	0,001
	454531,904	7550635,777	0,001	0,001
Receptor <i>Garmin GPS 12XL</i>	454678,366	7550637,443	0,001	0,002
	454687,959	7550511,567	0,008	0,017
	454518,299	7550509,970	0,012	0,032
	454531,816	7550636,056	0,004	0,005
Ortoimagem/2007	454677,325	7550638,652	1,415	1,394
	454687,300	7550511,001	1,415	1,394
	454518,774	7550510,476	1,415	1,394
	454531,899	7550636,702	1,415	1,394
Receptor <i>Garmin GPS 12XL</i> e Ortoimagem/2007	454678,366	7550637,443	0,001	0,002
	454687,300	7550511,001	1,415	1,394
	454518,299	7550509,970	0,012	0,032
	454531,899	7550636,702	1,415	1,394
	Área (m ²)	Desvio Padrão (1 σ) (m ²)	Discrepâncias (m ²)	
Receptor <i>Trimble 4600LS</i> Adotando erro de 5% de área = 993,888	19877,769	0,202	_____	
Receptor <i>Garmin GPS 12XL</i>	19915,299	3,027	37,53	
Ortoimagem/2007	19924,349	283,116	46,58	
Receptor <i>Garmin GPS 12XL</i> e Ortoimagem/2007	19965,007	202,900	87,238	

Analisando a Tabela 27, percebe-se que todas as discrepâncias em relação à área mapeada foram inferiores a 993,888 m², sendo que a menor discrepância encontrada foi de 37,53m² e desvio padrão de $\pm 3,027$ m² com o uso dos dados do receptor de navegação.

Com relação às medidas lidas sobre a ortoregrafia obteve-se uma discrepância em relação à área verdadeira de 46,58 m² e desvio padrão de $\pm 283,116$ m², ao passo que, a integração de dados GPS de navegação/ortoregrafia resultou em uma discrepância maior, porém com desvio padrão menor ($\pm 202,900$ m²).

Tabela 28 - Análise do valor de área e propagação de erros – Gleba 4.

Gleba 4	E (m)	N (m)	σ E (m)	σ N (m)
Receptor <i>Trimble</i> 4600LS	455294,474	7550824,994	0,002	0,002
	455331,526	7550286,646	0,001	0,001
	455195,507	7550282,293	0,001	0,001
	455166,530	7550814,222	0,001	0,001
Receptor <i>Garmin</i> GPS 12XL	455294,474	7550824,994	0,002	0,002
	455331,526	7550286,646	0,001	0,001
	455195,507	7550282,293	0,001	0,001
	455166,657	7550814,270	0,005	0,006
Ortoimagem/2007	455294,355	7550825,553	1,415	1,394
	455331,855	7550286,600	1,415	1,394
	455195,204	7550282,475	1,415	1,394
	455167,004	7550814,453	1,415	1,394
Receptor <i>Garmin</i> GPS 12XL e Ortoimagem/2007	455294,474	7550824,994	0,002	0,002
	455331,855	7550286,600	1,415	1,394
	455195,507	7550282,293	0,001	0,001
	455167,004	7550814,453	1,415	1,394
	Área (m ²)	Desvio Padrão (1 σ) (m ²)	Discrepâncias (m ²)	
Receptor <i>Trimble</i> 4600LS Adotando erro de 5% de área = 3543,903	70878,054	0,731	—————	
Receptor <i>Garmin</i> GPS 12XL	70845,968	1,545	32,086	
Ortoimagem/2007	70932,052	781,125	53,998	
Receptor <i>Garmin</i> GPS 12XL e Ortoimagem/2007	70852,415	551,696	25,639	

No caso da última gleba analisada, verifica-se que somente o uso da imagem ortorretificada para o mapeamento também proporcionou resultado satisfatório, com discrepância de 53,998 m² e desvio padrão de $\pm 781,125$ m².

A integração dos dados GPS de navegação e ortorectificação resultou na menor discrepância de 25,639 m² e com desvio padrão de $\pm 551,696$ m². A discrepância entre o valor da área considerada verdadeira e a calculada em função dos dados obtidos com o receptor de navegação foi de 32,086 m² com desvio padrão de 1,545 m².

Verifica-se que para as quatro glebas analisadas, os valores das áreas calculadas utilizando os pontos coletados sobre a imagem não ultrapassaram o valor estabelecido para atender a exigência estabelecida para os imóveis urbanos, constatando que a utilização das imagens ortorretificadas para o cadastramento dessas glebas, com respeito ao Código Civil é satisfatório, porém deve-se atentar que a utilização dessas imagens para o cadastramento de imóveis urbanos convencionais, cujas dimensões são bem menores é inadequado, uma vez que o erro máximo admissível foi de 0,245 m para cada componente planimétrica, adotando as dimensões do menor lote urbano e a probabilidade de 68,23% (1 σ) (item 7.2).

7 MAPEAMENTO TEMÁTICO UTILIZANDO A IMAGEM QUICKBIRD FUSIONADA

7.1 Geração das Imagens Fusionadas

A técnica de Fusão de imagens é amplamente utilizada para a exploração da complementaridade da natureza multiespectral das imagens, com a finalidade de obter uma imagem que preserve a qualidade geométrica da banda pancromática (resolução espacial melhor) e se beneficie da informação espectral das bandas multiespectrais (radiométrica).

De acordo com os autores Choi (2006) e Della Rocca et al. (2004) a técnica de Fusão IHS (*Intensity, Hue, Saturation*) consiste na conversão de uma composição colorida (três bandas espectrais) representadas no espaço RGB (*Red, Green e Blue*) em três componentes de intensidade, matiz e saturação no espaço IHS.

$$\begin{bmatrix} I \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (38)$$

$$H = \tan^{-1} \left[\frac{V_1}{V_2} \right] \quad (39)$$

$$S = \sqrt{(V_1)^2 + (V_2)^2} \quad (40)$$

As variáveis V_1 e V_2 são exclusivamente usadas para o cálculo de H e V não havendo nenhuma relação direta com a imagem.

De posse das componentes IHS separadas corretamente, é possível substituir uma das componentes (I) pela informação contida em uma quarta banda, por exemplo, a banda pancromática. Geralmente a banda pancromática utilizada passa por um processo de melhora através da manipulação do contraste do histograma e no caso deste experimento a aplicação de uma correção geométrica e ortorretificação.

Uma vez que essa operação é realizada, executa-se a etapa de transformação inversa (Equação 30) para obter uma nova imagem fusionada do tipo RGB.

$$\begin{bmatrix} F(R) \\ F(G) \\ F(B) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} Pan \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} I + (Pan - I) \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R + (Pan - I) \\ G + (Pan - I) \\ B + (Pan - I) \end{bmatrix} \quad (41)$$

sendo,

$F(R)$, $F(G)$ e $F(B)$: a imagem fusionada para as bandas R, G e B, respectivamente.

O processo de geração da imagem fusionada compreende os seguintes passos apresentados no fluxograma.

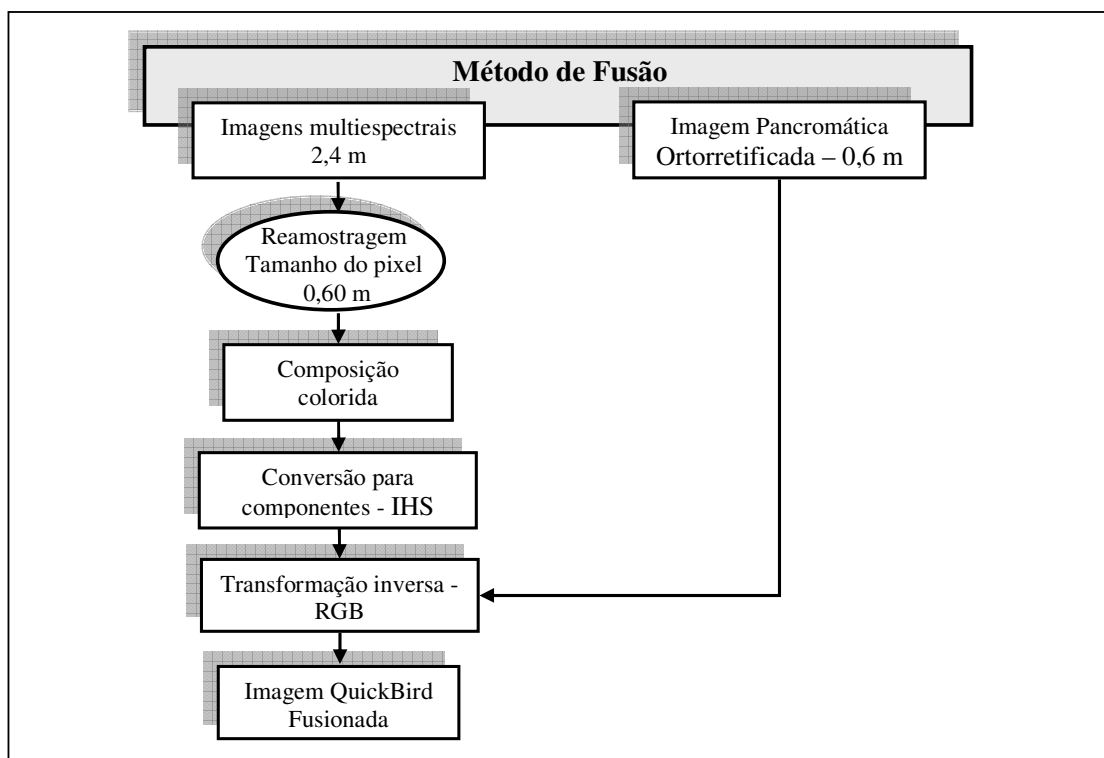


Figura 28 - Diagrama ilustrativo do processo de geração da imagem fusionada.

Na Figura 29 é apresentado o resultado da aplicação da técnica IHS sobre a imagem QuickBird fusionada, lembrando que todo o processamento digital foi executado o Software SPRING.

Observando a imagem fusionada é visível a melhora proporcionada pela técnica IHS, visando obter imagens híbridas que combinam a resolução espacial mais refinada da banda pancromática ortorretificada com a informação espectral disponibilizada pelas bandas multiespectrais do visível.

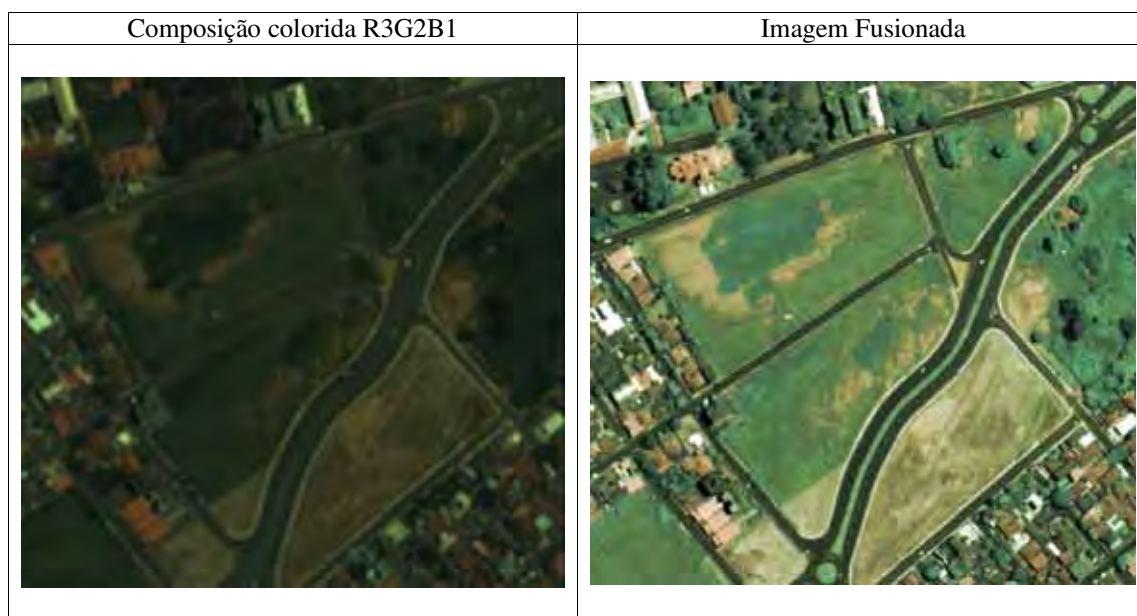


Figura 29 - Composição coloridas das bandas 3, 2 e 1 antes e após a fusão.

A técnica IHS de fusão é comumente utilizada devido sua eficiência e formulação matemática de fácil compreensão, porém deve-se atentar ao possíveis problemas referentes a distorção espectral que pode ocorrer durante do processo de fusão (CHOI, 2006).

7.2 Análise da Acurácia Posicional da Imagem Fusionada

Para a avaliação da acurácia posicional das imagens fusionadas através da técnica IHS utilizando a banda pancromática ortorretificada e *Standard* (sem aplicação da correção geométrica), serão efetuadas as comparação entre as coordenadas de uma feição fotoidentificável sobre a ortoimagem e suas respectivas coordenadas obtidas com o posicionamento GPS.

A Área Teste 3 compreende uma área relativamente pequena, deste modo apenas 5 pontos de controle bem distribuídos sobre a área foram utilizados.

O Desvio Padrão e EMQ referentes as imagens fusionadas a partir das bandas pancromáticas *Standard* e ortorretificada referentes a data de 2006 são apresentados nas Tabelas 29 e 30, respectivamente.

Tabela 29 - Desvio padrão e EMQ da imagem fusionada a partir da imagem QuickBird pancromática *Standard* 2006.

Ponto	GPS de navegação (pós – processado)		Imagem Fusão IHS (Pan <i>Standard</i> 2006)		Discrepâncias		
	E(m)	N(m)	E(m)	N(m)	$\Delta_{E(m)}$	$\Delta_{N(m)}$	
P1	458133,224	7552890,355	458141,505	7552888,629	-8,281	1,726	
P2	458121,974	7552743,857	458132,2089	7552741,049	-10,235	2,808	
P3	458122,63	7552616,999	458130,8576	7552615,099	-8,228	1,900	
P4	458268,536	7552599,794	458275,6894	7552598,024	-7,153	1,770	
P5	458158,311	7552641,205	458166,358	7552640,071	-8,047	1,134	
					Média	-8,389	1,868
					DP	1,128	0,603
					EMQ	8,449	1,944

Tabela 30 - Desvio padrão e EMQ da imagem fusionada a partir da imagem QuickBird ortorretificada 2006.

Ponto	GPS de navegação (pós – processado)		Imagem Fusão IHS (Pan ortorretificada 2006)		Discrepâncias		
	E(m)	N(m)	E(m)	N(m)	$\Delta_{E(m)}$	$\Delta_{N(m)}$	
P1	458133,224	7552890,355	458133,478	7552890,183	-0,254	0,172	
P2	458121,974	7552743,857	458122,762	7552743,285	-0,788	0,572	
P3	458122,630	7552616,999	458122,019	7552616,849	0,611	0,150	
P4	458268,536	7552599,794	458268,970	7552599,515	-0,434	0,279	
P5	458158,311	7552641,205	-0,368	-0,649	-0,368	-0,649	
					Média	-0,247	0,105
					DP	0,519	0,454
					EMQ	0,526	0,419

Já o Desvio Padrão e EMQ referentes as imagens fusionadas a partir das bandas pancromáticas *Standard* e ortorretificada referentes a data de 2007 são apresentados nas Tabelas 31 e 32, respectivamente.

Tabela 31 - Desvio padrão e EMQ da imagem fusionada a partir da imagem QuickBird pancromática *Standard* 2007.

Ponto	GPS de navegação (pós – processado)		Imagem Fusão IHS (Pan <i>Standard</i> 2007)		Discrepâncias		
	E(m)	N(m)	E(m)	N(m)	$\Delta_{E(m)}$	$\Delta_{N(m)}$	
P1	458133,224	7552890,355	458135,439	7552889,732	-2,215	0,623	
P2	458393,430	7552912,844	458394,752	7552913,492	-1,322	-0,648	
P3	458194,404	7552584,314	458196,263	7552583,780	-1,859	-0,095	
P4	458396,158	7552711,383	458397,641	7552712,288	-1,483	-0,905	
P5	458289,880	7552835,454	458291,565	7552834,693	-1,685	0,761	
					Média	-1,713	0,073
					DP	0,120	0,616
					EMQ	1,741	0,556

Tabela 32 - Desvio padrão e EMQ da imagem fusionada a partir da imagem QuickBird ortorretificada 2007.

Ponto	GPS de navegação (pós – processado)		Imagem Fusão IHS (Pan ortorretificada 2007)		Discrepâncias		
	E(m)	N(m)	E(m)	N(m)	$\Delta_{E(m)}$	$\Delta_{N(m)}$	
P1	458133,224	7552890,355	458133,904	7552890,594	-0,680	-0,239	
P2	458393,43	7552912,844	458394,632	7552912,859	-1,202	-0,015	
P3	458194,404	7552584,314	458195,180	7552584,889	-0,776	-0,575	
P4	458396,158	7552711,383	458396,294	7552711,762	-0,136	-0,379	
P5	458289,88	7552835,454	458289,717	7552836,713	0,163	-1,259	
					Média	-0,526	-0,493
					DP	0,293	0,225
					EMQ	0,715	0,283

Discutindo as informações apresentadas nas Tabelas 31 e 32, verifica-se que a utilização da imagem ortorretificada para a geração da imagem fusionada referente a data de 2006 proporciona resultados mais consistentes para as componente planimétricas, nota-se também que a componente E revela ser mais favorecida com a aplicação da correção geométrica, quando comparada com os valores do DP e EMQ resultantes da imagem fusionada com a banda pancromática *Standard* (sem correção).

Em contraposição, para a imagem imageada no ano de 2007 essa melhora não se apresenta tão significativa, uma vez que os valores do DP e EMQ são praticamente iguais, revelando apenas uma pequena melhora em ambas as componentes.

A partir dos valores do DP e EMQ mostradas nas Tabelas 29, 30, 31e 32, pode-se confirmar que a utilização da imagem pancromática ortorretificada para a geração da imagem fusionada proporciona resultados mais consistente em relação a acurácia posicional, porém no caso da imagem QuickBird de 2007, o resultado obtido não foi tão expressivo quanto aos resultados alcançados sobre a imagem de 2006.

7.2.1 Posicionamento Cinemático Sobre Vazios Urbanos

Além da análise estatística baseados no DP e EMQ utilizando pontos de controle, foi realizado o posicionamento relativo cinemático para a detecção de 4 vazios urbanos que compõem a área teste.

O posicionamento relativo cinemático foi realizado utilizando ambos os receptores GPS de navegação e geodésico de simples frequência para propiciar a comparação entre os resultados obtidos com os dois receptores, como apresentado na Figura 30.

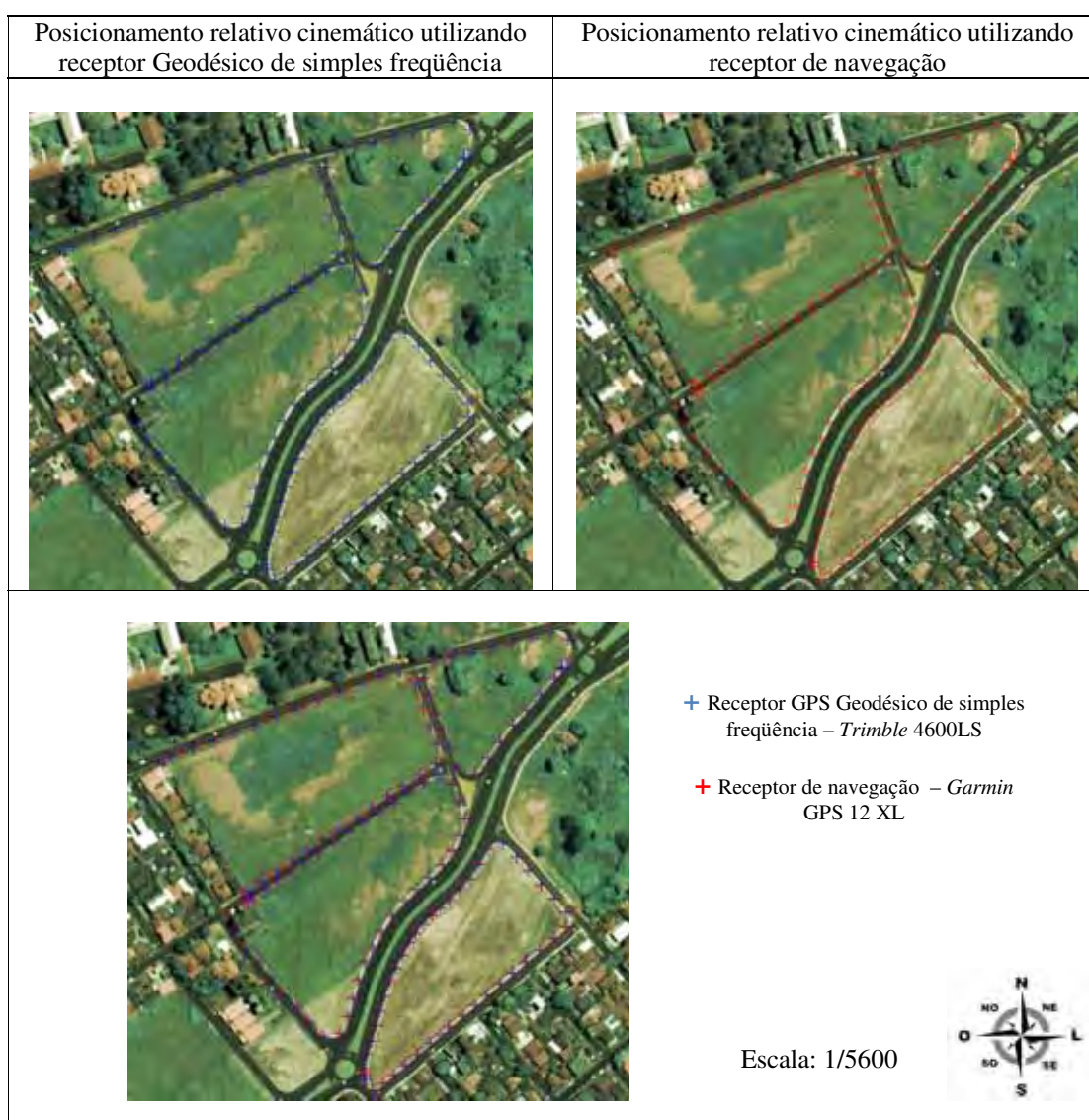


Figura 30 - Sobreposição dos pontos coletados com receptores GPS sobre a imagem QuickBird fusionada.

De acordo com a Figura 30 é possível verificar a compatibilidade do posicionamento realizado com ambos os receptores GPS de navegação e geodésico de simples frequência, para o mapeamento das glebas urbanas utilizando o posicionamento relativo cinemático, demonstrando que a possibilidade da utilização do receptor GPS de navegação com dados pós-processados para este fim é satisfatório.

Deve-se atentar que o posicionamento realizado com o receptor GPS de navegação depende de vários fatores, dentre os quais podem ser citados, o tempo de coleta suficiente para resolver o vetor de ambigüidades no ajustamento, que por sua vez depende da configuração geométrica dos satélites, e a existência de uma estação de referência próxima para a realização do posicionamento relativo (mesmas condições atmosféricas), para obtenção de resultados precisos e compatíveis aos proporcionados pelo receptor de simples frequência.

7.3 Classificação Supervisionada da Imagem Fusionada

Após a verificação da qualidade posicional da imagem QuickBird fusionada através do método IHS utilizando as bandas multiespectrais do espectro do visível e a banda pancromática ortorretificada, realizou-se a etapa de classificação supervisionada para a geração do mapa temático para identificação dos vazios urbanos da Área Teste 3

A classificação pode ser entendida como o agrupamento de *pixels* para um determinada classe temática, baseada em suas propriedades espectrais, em particular o método de classificação supervisionado envolve o conhecimento *a priori* da área de estudo para facilitar e permitir a geração da assinatura espectral que será usada para treinar o algoritmo de classificação (WONGPRAYOON; VIEIRA; LEACH, 2006).

Neste experimento foi aplicado o classificador de Máxima Verossimilhança, por ser considerado um classificador robusto, cujas estimações dependem da covariância entre as bandas espectrais para cada uma das classes. Os *pixels* selecionados para a realização do treinamento do algoritmo foram definidos através da interpretação visual e trabalho de campo.

O principal alvo a ser delimitado neste experimento são as glebas urbanas (Área Teste 3), cujo formato bem definido por ruas asfaltadas, além da presença de cobertura vegetal proporciona grande potencial para a aplicação do método de classificação automática, uma vez que as respostas espectrais destes dois alvos são diferentes.

Os tipos de cobertura da terra selecionados para a realização da classificação foram: vegetação rasteira, vegetação arbórea, solo exposto, edificação, asfalto e sombra, e o esquema hierárquico da classificação pode ser visualizado na Figura 31.

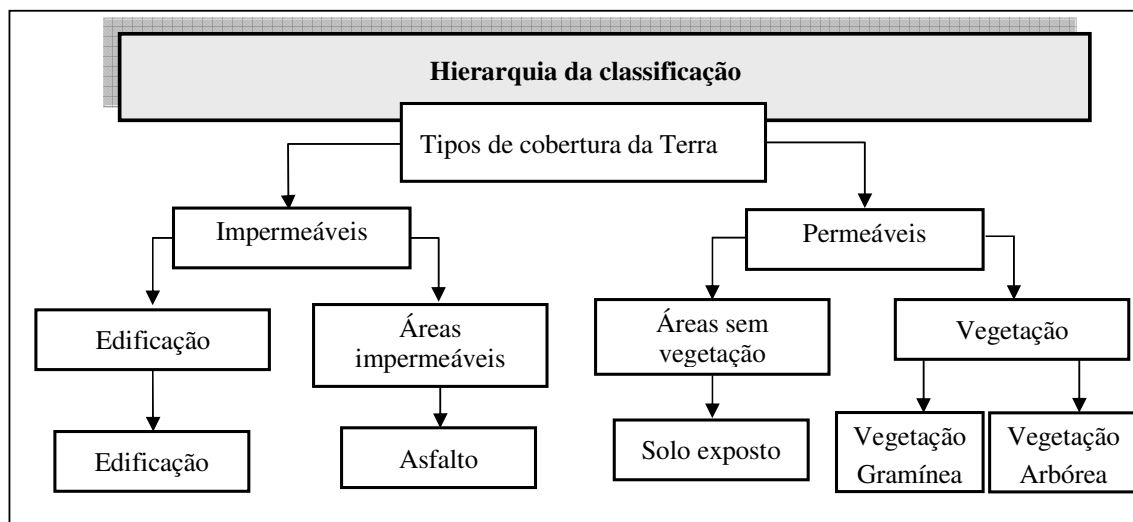


Figura 31 - Esquema hierárquico da classificação dos alvos de interesse.

A escolha destas cinco classes temáticas se deram em função dos objetos presentes na Área Teste 3, visto que os vazios urbanos são compostos basicamente de vegetação rasteira e solo exposto na sua maioria.

Para a geração do mapeamento temático foi realizado inicialmente o processo de segmentação pelo método de crescimento de regiões com similaridade 10 e área de pixel 20, o classificador por região utilizado foi o *Battacharya*, cujo critério de classificação é baseado na distância média entre as distribuições de probabilidade de um par de classes espectrais, o resultado da classificação pode ser visualizada na Figura 32.

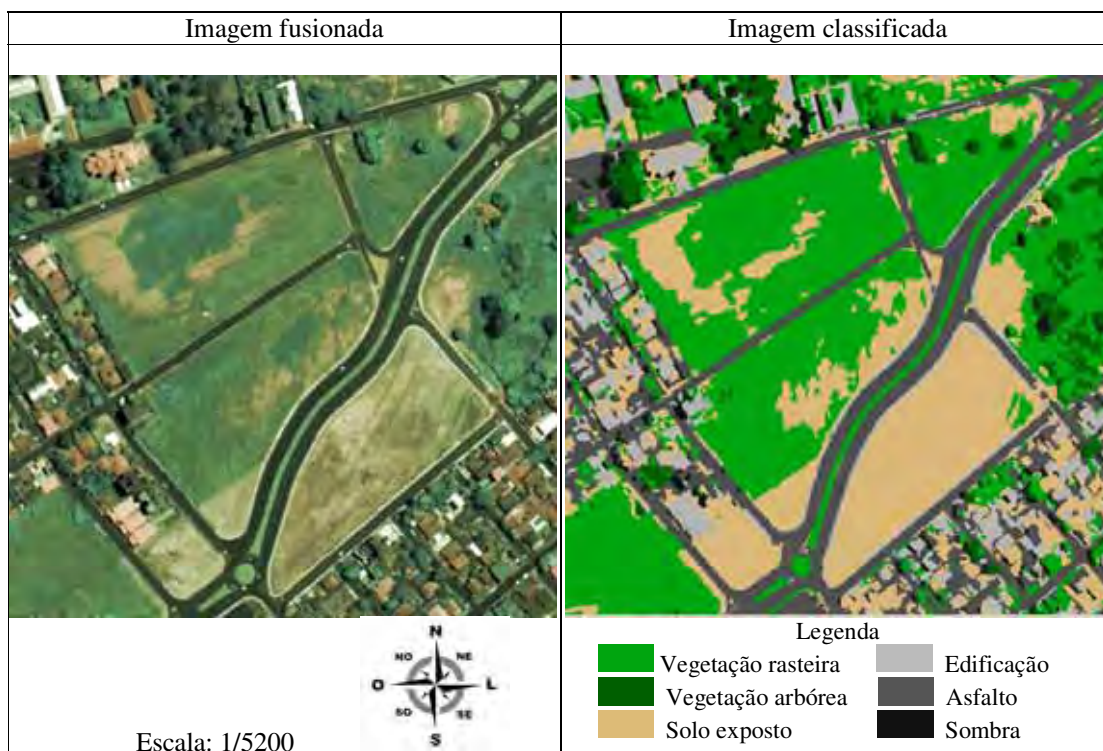


Figura 32 - Resultado da classificação dos obtida através da imagem QuickBird fusionada.

7.4 Análise da Acurácia Temática da Classificação Supervisionada da Imagem Fusionada

Todos os processamentos para a análise da acurácia temática foram realizados no software IDRISI, que constitui-se de um Sistema de Informações Geográficas e de processamento de imagens desenvolvido pelo “*Graduate School of Geography*” da “*Clark University*”, projetado para atender as necessidades do usuário de SIG e de Sensoriamento Remoto, compreendendo desde consultas a banco de dados e modelagem espacial, até realce e classificação de imagens.

7.4.1 Delineamento Amostral e Geração da Matriz de Confusão

Para a realização das análises estatísticas da classificação realizada deve se levar em conta o tamanho da unidade experimental (amostra), assim como a frequência com que são coletadas essas amostras (número de elementos amostrais) e o esquema de amostragem adotado devem estar adequados para produzir resultados significativos sem distorções.

O método de amostragem utilizado foi a estratificada não alinhada com o objetivo de obter amostras aleatórias não sistemáticas, que viabilizem a aquisição de elementos amostrais espacialmente distribuídos e relacionados com o seu real significado. Os elementos amostrais são de suma importância, pois estes definem a imagem de referência para a análise do desempenho do processo de classificação obtida.

Além da escolha do método de amostragem a ser empregado, outro fator importante a ser considerado é a quantidade de amostras utilizadas na estimativa de exatidão da classificação. Thomas e Allcock (1984) apud Stein, Meer e Gorte (1999) sugerem a formulação matemática baseada na teoria da distribuição binomial.

$$N = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q}{E^2} \quad (42)$$

sendo,

p = exatidão desejada;

$q = 1 - p$;

$Z \sim N(0,1)$, o ponto crítico para um limite de confiança de inclusão para P , o parâmetro de exatidão real; e

E = erro de amostragem.

A partir da formulação descrita por Stein, Meer e Gorte (1999), obteve-se um total necessário de 34 amostras para atender a precisão desejada, porém deve-ser considerar que aumentando o número e distribuição das amostras, maior será a consistência dos dados para a execução da análise.

Na Figura 33 pode ser visualizada a distribuição aleatória não sistemática dos locais aproximados, onde foram coletadas as amostras para a geração da imagem de Verdade Terrestre. Sendo que além dos 40 pontos escolhidos automaticamente, foram adensados alguns pontos para aumentar a quantidade de amostras para a composição da imagem de referência.



Figura 33 - Disposição dos 33 pontos amostrais utilizados para a geração da imagem de verificação da qualidade temática.

Na Figura 34 pode ser visualizado os elementos amostrais utilizados para definir a referência temática, considerada de verdade terrestre para a análise do desempenho do processo de classificação.

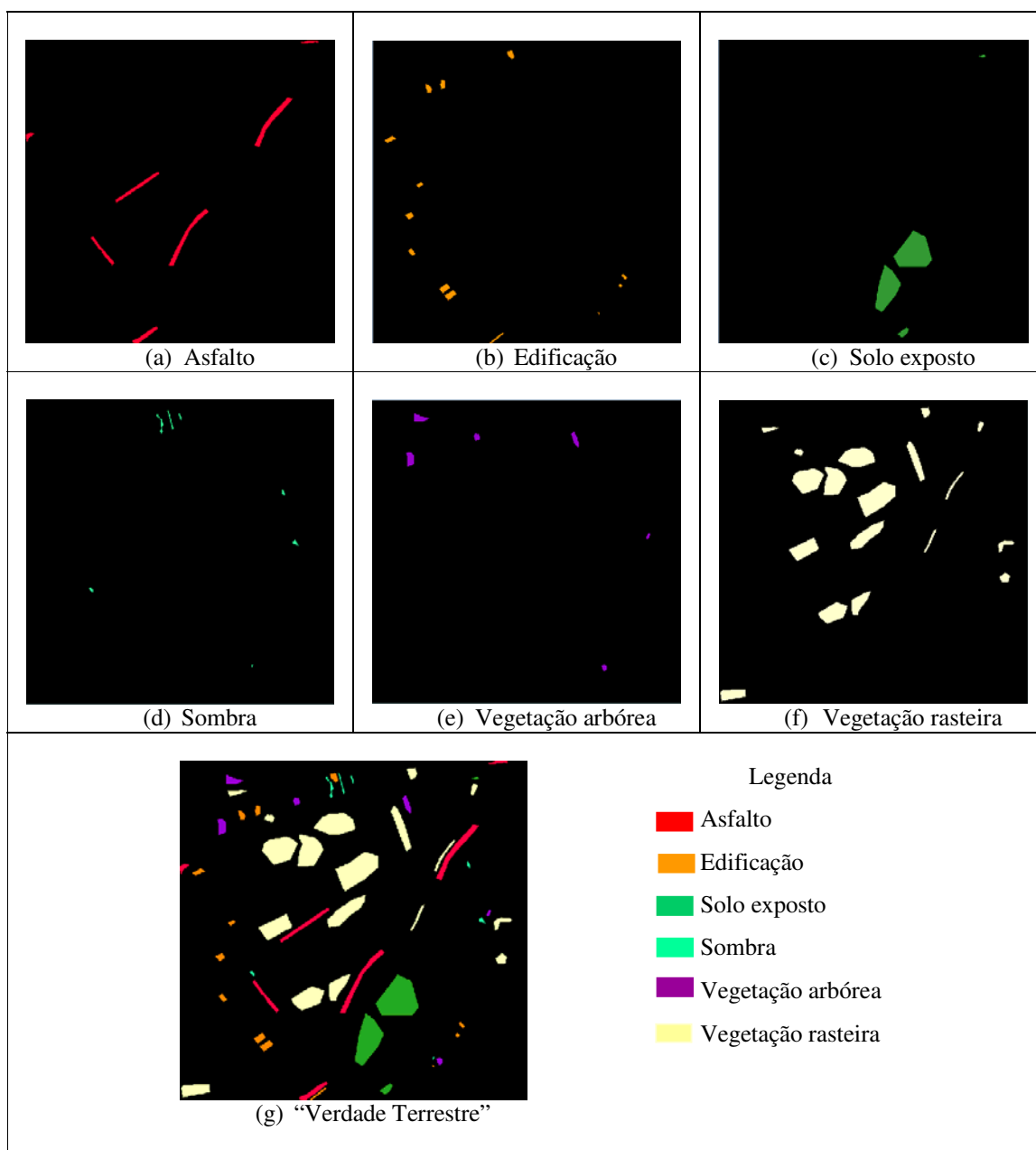


Figura 34 - Elementos amostrais que compõem a imagem de referência ou "verdade terrestre".

Depois de definida a imagem de referência com base na interpretação visual e verificação em campo, é realizada a confrontação, ou seja, uma tabulação cruzada com os dados da classificação temática com todas as feições urbanas de interesse mapeadas, desta forma todas as coincidências ou não coincidências analisadas entre a classificação temática e a "verdade terrestre" são quantificadas.

Essa quantificação é apresentada em uma matriz de erros, que segundo Lillesand et al. (2004) é também denominada de matriz de confusão ou tabela de

contingência, cuja função é basicamente comparar categoria por categoria, em relação aos dados de referência conhecidos e os resultados correspondentes de uma classificação automatizada.

Os resultados obtidos da matriz de confusão para a classificação da Área Teste 3 é apresentada na Tabela 33.

Tabela 33 - Matriz de confusão resultante da tabulação cruzada entre os dados de referência e os dados de classificação.

Dados da classificação	Dados de referência ou "verdade terrestre"						Total de <i>pixels</i>
	Asfalto	Vegetação rasteira	Solo exposto	Edificação	Vegetação arbórea	Sombra	
Asfalto	4883	17	49	6	0	0	4955
Vegetação rasteira	2	22101	0	251	444	2	22800
Solo exposto	1	452	8333	248	0	0	9034
Edificação	20	0	40	1456	0	0	1516
Vegetação arbórea	0	183	0	0	1045	0	1228
Sombra	2	0	0	0	0	505	507
Total de <i>pixels</i>	4908	22753	8422	1961	1489	507	40040

Observando a matriz de confusão pode-se verificar que do total de 40040 *pixels* analisados 1717 *pixels* foram classificados erroneamente, ou seja, cerca de 4,4% do total da amostra verificada.

Em todas as classes houveram confusões, sendo a classe referente a sombra a que apresentou melhor resultado, essas confusões podem ser explicada pelo fato que poucas classes foram mapeadas, ou seja, muitos alvos com respostas espectrais diferentes tais como o telhado de barro, amianto, concreto, etc., foram classificados como edificação, fazendo com que sejam alocados erroneamente nesta classe.

No caso deste experimento levou se em consideração a detecção e mapeamento dos vazios urbanos, cujo formato irregular delineado por estradas asfaltadas e coberto de vegetação rasteira proporcionou grande potencial para a aplicação da classificação automática. Desta forma, a maior atenção foi voltada para as classes referentes a vegetação rasteira e asfalto, conseqüentemente pouca importância foi atribuída as áreas de construções urbanas, revelando grande número de *pixels* classificados erroneamente.

Na próxima sessão serão realizados efetivamente os cálculos dos indicadores estatísticos que expressam o grau de concordância entre as representações referentes à verdade terrestre e a classificação temática, através da observação dos resultados obtidos na matriz de confusão.

7.4.2 Técnicas para a Estimativa da Exatidão da Classificação

Congalton e Green (1999) destacam que a análise da acurácia temática da classificação supervisionada é baseada na verificação da porcentagem de *pixels* que foram classificados corretamente com relação aos dados de referência ou verdade terrestre, estes dados podem ser obtidos através de amostras observadas a partir de trabalhos de campo ou de documentos auxiliares, como fotografias aéreas e cartas. Os autores acrescentam que essa porcentagem resulta de valores que expressam o que foi corretamente classificado, sendo obtidos por amostragem e expressos na forma de uma matriz de erro (também chamada matriz de confusão ou tabela de contingência). A partir desta matriz podem ser calculadas a exatidão global da classificação, assim como a exatidão para as classes individuais.

A acurácia global é a medida de exatidão da classificação mais simples, sendo calculada a partir da razão entre o somatório dos *pixels* classificados corretamente (correspondem aos *pixels* da diagonal principal da matriz de confusão) dividido pelo número total de *pixels* utilizados para a verificação (STEIN; MEER; GORTE, 1999).

$$EG = \frac{\sum_{i=1}^r x_{ii}}{N} \quad (43)$$

sendo,

EG: exatidão global;

N : número total de *pixels*;

x_{ii} : observação na linha i e coluna i (diagonal principal).

Outras análises levadas em consideração dizem respeito aos erros de omissão e inclusão, que utilizam das informações marginais das linhas e colunas da matriz de confusão (CONGALTON; GREEN, 1999).

Os erros de omissão são aqueles para os quais os *pixels* pertencentes a uma classe de interesse são alocadas em outras classes.

$$E_o = \frac{x_{i+} - x_{ii}}{x_{i+}} \quad (44)$$

sendo,

E_o : erros de omissão

x_{i+} : valor marginal da linha

x_{ii} : observação na linha i e coluna i (diagonal principal).

Os erros de inclusão se referem a inclusão dos *pixels* de outras classes à classe de interesse.

$$E_I = \frac{x_{+i} - x_{ii}}{x_{+i}} \quad (45)$$

sabendo que,

E_o : erros de inclusão

x_{+i} : valor marginal da coluna

x_{ii} : observação na linha i e coluna i (diagonal principal).

Através dos valores obtidos pelos erros de omissão e inclusão é possível calcular de maneira similar a acurácia da classificação das classes individuais, a partir de duas aproximações:

- acurácia do produtor (*producer's accuracy*) e;
- acurácia do usuário (*user's accuracy*)

A acurácia do produtor é dada pela razão entre o número de *pixels* corretamente alocado em uma classe pelo número total de *pixels* derivados dos dados de referência, ou seja, este mede o grau de concordância com que certa área foi classificada. Esta medida está relacionada com o erro de omissão de cada classe mapeada, quanto maior o erro de omissão existente menor será a acurácia do produtor (BANKO, 1998).

$$\text{Acurácia do produtor} = 100\% - \text{erro de omissão} \quad (46)$$

A acurácia do usuário é uma medida de confiabilidade da classificação sendo obtida através da razão entre o número total de *pixels* que foram classificados corretamente dividido pelo número total de *pixels* que foram classificados nesta classe (BANKO, 1998). Esta medida também pode ser obtida através da Equação (36), ou seja, quanto maior for o erro de inclusão menor será a acurácia do usuário.

$$\text{Acurácia do usuário} = 100\% - \text{erro de inclusão} \quad (47)$$

A estimativa de *Kappa* é uma medida global de concordância dos dados de referência e a classificação automática, e a probabilidade de concordância entre os dados de referência e a classificação aleatória. De acordo com Rosen_eld e Fitzpatrick-Lins (1986) apud Banko (1998), este índice é amplamente utilizado e recomendado como um padrão, sendo definido matematicamente como sendo:

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})} \quad (48)$$

com,

r : número de linhas da matriz de confusão;

x_{ii} : observação na linha i e coluna i (diagonal principal);

n_{i+} e n_{+i} : totais marginais da linha i e coluna i , respectivamente;

N : número total de *pixels*.

O coeficiente de concordância *Kappa*, pode ser classificador por intervalos de valores relacionados com a qualidade da classificação, sendo a Tabela 34 a escala proposta por Landis e Koch (1977).

Tabela 34 - Qualidade da classificação segundo intervalos do coeficiente de concordância *Kappa*.

Valor do <i>kappa</i>	Qualidade da Classificação
< 0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito Boa
0,80 – 1,00	Exelente

FONTE: Landis e Koch (1977).

7.4.2.1 Resultado da Exatidão da Classificação Supervisionada Obtida Através da Imagem QuickBird Fusionada

Com base nos resultados obtidos na matriz de erros apresentada na Tabela 25 calculou-se os indicadores de acurácia, correspondentes a exatidão global, erros de omissão e inclusão, acurácia do produtor e usuário, e o índice *Kappa*.

A matriz de erro para a classificação baseada em regiões apontou uma exatidão global (EG) de aproximadamente 95,72% demonstrando que, dos 40040 *pixels* amostrados, 38323 apresentaram concordância entre a situação observada no mapa e a verificada pelas amostras de acurácia.

A seguir é apresentado na Tabela 36, o resultado obtido para os erros de omissão e inclusão, bem como a acurácia do produtor e usuário obtido para cada classe mapeada.

Tabela 36 - Indicadores de acurácia das classes mapeadas.

Asfalto	Vegetação rasteira	Solo exposto	Edificação	Vegetação arbórea	Sombra
$E_o = 1,45\%$	$E_o = 3,07\%$	$E_o = 7,76\%$	$E_o = 3,96\%$	$E_o = 14,90\%$	$E_o = 0,39\%$
$E_l = 0,51\%$	$E_l = 2,87\%$	$E_l = 1,06\%$	$E_l = 25,75\%$	$E_l = 29,82$	$E_l = 0,39\%$
$A_p = 98,55\%$	$A_p = 96,93\%$	$A_p = 92,24\%$	$A_p = 96,04\%$	$A_p = 85,10\%$	$A_p = 99,61\%$
$A_u = 99,49$	$A_u = 97,13$	$A_u = 98,94$	$A_u = 74,25$	$A_u = 70,18$	$A_u = 99,61$

Segundo Bernardi (2007) et al. uma matriz de erros de uma classificação ideal apresenta os valores da diagonal principal próximos a 100%, indicando que não houve confusão entre as classes mapeadas. Entretanto, esta é uma situação ideal sendo dificilmente encontrada em imagens existem muito alvos imageados que possuem características espectrais semelhantes, podendo ser melhorada quando aplicada uma classificação orientada a objetos considerando os elementos: forma e a textura para a execução das analisadas.

Verifica-se que todas as classes possuem erros de omissão, sendo a classe sombra que apresentou menos erro de omissão, e a classe que apresentou maior erro de omissão foi a vegetação arbórea, onde 183 *pixels* foram alocados erroneamente na classe de vegetação rasteira.

A classe que apresentou menor erro de inclusão foi também a sombra com apenas 0,39%, enquanto que a classe referente ao alvo vegetação arbórea um total de 444 *pixels* de outras classes foram inseridas a classe de vegetação rasteira.

A acurácia do produto representa o nível de acerto com que o produtor gerou a classificação, ou seja, mede o grau de concordância com que certa classe foi classificada. Os melhores resultados foram obtidos para as classes de sombra, asfalto e vegetação rasteira, sendo os dois últimos as classes de maior interesse neste teste.

Com relação a acurácia do usuário, os melhores resultados foram as classes referentes a sombra, asfalto e solo exposto, sendo o pior resultado obtido pela classe da vegetação arbórea.

O indicador estatístico *Kappa* é uma medida global de concordância da matriz de confusão, em contraste com o estimador global de exatidão (EG) que apenas leva em consideração os valores da diagonal principal para a estimação da acurácia da classificação, o índice *Kappa* leva em conta também os elementos dispostos fora da diagonal principal da matriz de erros para a análise.

O valor obtido pelo índice *Kappa* foi de aproximadamente 93%, ou seja, obteve um excelente resultado de acordo com o descrito por Lindis e Koch (1977), que propuseram uma escala de avaliação.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A maior preocupação deste trabalho, foi analisar o potencial da imagem QuickBird como instrumento de informações iniciais para realizações de medições que podem auxiliar nas tarefas de Cadastramento das glebas urbanas, que muitas vezes não são cadastradas fisicamente, por demandar alto custo para realização dos trabalhos de campo.

Além da utilização da imagem QuickBird também foi empregado o sistema de coleta de dados GPS constituído pelo receptor de navegação *Garmin* GPS 12XL, conjuntamente com os programas ASYNC e GAR2RNX e a coletora *WorkAbout Pro*, para viabilizar o pós-processamento das observáveis GPS para obtenção da coordenada tridimensional de um ponto de interesse no terreno. Este sistema se mostrou bastante atrativo, principalmente com relação ao modo cinemático, proporcionando resultados compatíveis com os obtidos com o receptor Geodésico de simples frequência, no que se refere ao posicionamento planimétrico.

Nesta pesquisa foram avaliadas três Áreas Testes, dentre as quais, uma se refere às glebas com características físicas semelhantes às chácaras de recreio situadas dentro da zona de expansão urbana, e duas se referem à vazios urbanos cujas as características físicas são bem distintas. A partir das características de cada Área Teste, foi possível avaliar a qualidade geométrica e temática das imagens QuickBird de duas formas diferentes, uma utilizando informações auxiliares (elementos fotointerpretativos) para identificar visualmente os limite de uma gleba a outra, e outra através de métodos de classificação supervisionados para geração de mapas temáticos.

As imagens utilizadas foram compradas no formato *Standard*, corrigidas radiometricamente e geometricamente segundo o padrão adotado pela empresa, que consiste basicamente no processo de retificação utilizando um plano com altura constante em relação ao elipsóide, apenas para normalizar as distorções decorrentes do relevo.

Com o objetivo de melhorar geometricamente a imagem QuickBird *Standard*, foram realizadas correções geométricas, utilizando o modelo não rigoroso baseado nos polinômios RPC, pontos de controle coletados por meio do sistema de coleta de dados empregando o receptor GPS de navegação e o MDT gerado a partir dos dados de curvas de nível. Verificou-se que no caso da imagem QuickBird tomada 2006, após a aplicação da correção geométrica e ortorretificação, proporcionou resultados mais significativos, uma vez que a imagem original apresentava um deslocamento sistemático sobre a componente

planimétrica E. Com relação à imagem QuickBird 2007 esta melhora geométrica não foi tão evidente, porém existente.

Esta grande variação apresentada pela imagem referente ao ano de 2006 pode ser explicada pelo ângulo de visada do imageamento ($\nu=14,0$), visto que a imagem de 2007 foi tomada com um ângulo na posição quase nadir ($\nu=3,7$), além de outros fatores, como a qualidade dos coeficientes dos polinômios RPC para orientação das imagens, sendo que estes foram estimados pelas empresas responsáveis.

No caso das Áreas Testes 1 e 2, foram descritos os elementos fotointerpretativos para a identificação visual dos limites de uma gleba a outra, visto que, para estas áreas, a utilização de técnicas de segmentação e classificação automática não apresentaram resultados satisfatórios, conseqüentemente a interpretação visual se mostrou-se mais apropriada.

Para estas mesmas Áreas Testes, além do estudo dos elementos fotointerpretativo como instrumento para auxiliar na identificação visual, foram realizadas análises estatísticas de tendência e precisão utilizando 41 pontos coletados com receptor GPS de navegação, para ambas as imagens imageadas em 2006 e 2007, cujos resultados foram idênticos revelando que o produto gerado enquadra-se na classe A para as componentes planimétricas (E, N) nas escalas 1:10000, 1:5000 e 1:3000, e na classe B para a escala 1:2000, de acordo com as normas brasileiras de Exatidão Cartográficas (PEC). A componente altimétrica não foi avaliada, visto que não foi objeto de estudo e interesse deste estudo.

Analisado a qualidade da informação geométrica, verificou-se que a realização de medidas de área sobre a imagem QuickBird ortorretificada é satisfatória, quando levado em consideração o critério estabelecido pelo Código Civil

Além da análise geométrica da imagem QuickBird ortorretificada, verificou-se que a utilização da imagem QuickBird fusionada através do método IHS, empregando as imagens multiespectrais (bandas do visível) e a banda pancromática ortorretificada, proporcionaram uma imagem fusionada geometricamente e visualmente melhor, quando comparada com a utilização da banda pancromática *Standard* (sem correção), sendo este utilizado para a realização da classificação supervisionada.

O resultado obtido com a classificação supervisionada se revelou bastante otimista resultando em valores da ordem de 95,72% e 93%, para o erro global e índice *kappa*, respectivamente. Deve-se observar que os alvos que foram mapeados foram classificados em cinco classes distintas, vegetação arbórea, vegetação rasteira, solo exposto, sombra e edificação, sendo a última que apresentou maior confusão, esta inconsistência observada na

classificação temática foi decorrente da inclusão de alvos distintos em uma mesma classe espectral, devido à similaridade espectral que apresentaram.

Após os testes realizados neste trabalho, verificou-se que as imagens QuickBird de alta resolução espacial, são adequadas para realização de medições, desde que, cuidados sejam tomados com relação à correção geométrica, principalmente para imagens tomadas com ângulo de visado fora da posição nadir. A utilização das ortoimagens para geração de imagens fusionadas se apresentou amplamente adequado, proporcionando resultados satisfatórios para a realização do mapeamento temático, destas glebas.

Deve-se ressaltar que não foi de interesse deste trabalho utilizar imagens de satélites para a definição de limites de propriedades urbanas ou rurais, para efeito de registro ou tributação, uma vez que tais imagens ainda não proporcionam a precisão posicional compatível com a precisão requerida para efeito de registro, porém sua utilização para mapear grandes glebas urbanas de formato irregular, se apresenta significativamente viável.

A partir deste estudo, conclui-se que alguma providência deve ser tomada com relação a precisão posicional a ser obtida nos levantamentos de campo, para definição dos limites físicos dos imóveis urbanos, pois apenas o estabelecimento da Lei 10.406 de 2002 (Código Civil), não é um critério suficiente para Cadastrar estes imóveis (chácaras de recreio e vazios urbanos), com uma precisão adequada, visto que estes podem ser Cadastrados até mesmo com a utilização da imagem QuickBird ortorretificada neste trabalho.

Recomenda-se para trabalhos futuros, a realização de uma correção geométrica mais rigorosa, utilização o modelo físico do sensor (modelo rigoroso), conjuntamente com um MDT mais acurado e o adensamento de mais pontos de controle para realização da correção geométrica.

De um ponto de vista temático, recomenda-se a geração de imagens fusionadas incluindo a banda pancromática ortorretificada, utilizando outras técnicas de fusão, por exemplo, podem-se citar as Transformações *Brovvey* e por Componentes Principais e posteriormente, a aplicação da classificação orientada a objetos.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ, R. **Os “vazios urbanos” e o processo de produção da cidade.** 1994. 146 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

AMORIM, A.; SOUZA, G. H. B.; DALAQUA, R. R. Uma metodologia alternativa para a otimização da entrada de dados em sistemas cadastrais. **Revista Brasileira de Cartografia.** n.56, p. 47-54, jul. 2004.

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria.** Curitiba: SBEE, 1998, 258p.

ANTUNES, A. F. B. **Curso de especialização em Geotecnologias:** cadastro técnico urbano e rural. 59 f. Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná. 2004.

ARAKI, H. **Fusão de informações espectrais, altimétricas e de dados auxiliares na classificação de imagens de alta resolução espacial.** 2005. 136 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ARANA, J. M. **O uso do GPS na elaboração de carta geoidal.** 2000. 164 f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BANKO, G. A. **Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data and of Methods Including Remote Sensing Data in Forest Inventory.** 42 f. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, nov. 1998. Disponível em: <http://www.iiasa.ac.at/Admin/PUB/Documents/IR-98-081.pdf> . Acesso em: 19 dez. 2007.

BARBOSA, R. L. ; SILVA, J. F. C.; MENEGUETTE JR, M. ; GALLIS, R. B. A. . Geração de modelo digital do terreno utilizando a triangulação de Delaunay e thin plate spline. In: III COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 2003, Curitiba. Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2003.

BERNARDI, H. V. F. et. al. Classificação digital do uso do solo comparando os métodos “pixel a pixel” e orientada ao objeto em imagem QuickBird. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, 2007, INPE, p. 5595-5602.

BRASIL. Decreto Federal nº 89.817, de 20 de junho de 1984, Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm>. Acesso em: 01 nov. 2007.

BRASIL. Código Civil, Lei 3.071, 1 de janeiro de 2002, Estabelece critérios para compra e venda. Disponível em: < http://www.soleis.adv.br/codigocivil.htm#CAPÍTULO%20I%20-%20DA%20COMPRA%20E%20VENDA_>. Acesso em: 15 nov. 2007.

BRASIL. Código Civil, Lei 10.406, 10 de janeiro de 2002, Estabelece critérios para compra e venda. Disponível em: < <http://www.votebrasil.com.br/download/pdf/novo-codigo-civil.pdf>> . Acesso em: 05 nov. 2007.

BRASIL. Presidente Prudente. Lei Complementar Nº 127/2003. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Para Fins Urbanos e dá Outras Providências. Disponível em: <http://www.presidenteprudente.sp.gov.br/documentosconcursos/127LC.htm>. Acesso em: 15 abr. 2007.

BÜYÜKSALIH, G.; ORUC, M.; JACOBSEN, K. **Precise georeferencing of rectified high resolution space images**. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING (ISPRS) CONGRESS, XX, Istanbul, 2004. Disponível em: < <http://www.geoiect.net/Research/Publications.htm#2001>>. Acesso em: 15 abr. 2008.

CAMARGO, P. O. FLORENTINO, C.; REDIVO, A. C. **Posicionamento com receptores de navegação**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, XXI, Belo Horizonte – MG. 2003.

CAMARGO, P. O.; FLORENTINO, C.; REDIVO, A. C. **Posicionamento relativo com receptor de navegação Garmin 12 XL**. In: TALLER INTERNACIONAL “INFORMÁTICA Y GEOCIÊNCIAS”, VI, Havana – Cuba. 2003. p. 24-27.

CAMARGO, P. O.; FLORENTINO, C.; REDIVO, A. C. **Posicionamento Relativo Cinemático com Receptor de Navegação Garmin GPS 12XL**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, Anais CD-Rom, Florianópolis, 2004.

CARNEIRO, A. F. T.; Cadastro e registro de imóveis em áreas rurais e urbanas: A lei 10.267/2001 e experiências nos municípios de São Paulo e Santo André. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, nº 53, p. 73-81, dez. 2001.

CARNEIRO, A. F. T. **Cadastro Imobiliário e Registro de Imóveis**. 1ªEd. Editora Sérgio Antonio Fabris, Porto Alegre 2003. 272p.

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento Remoto e processamento de imagens digitais**. 1. ed. Curitiba: Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, 2004.

CHOI, M. A New Intensity-Hue-Saturation Fusion Approach to Image Fusion With a Tradeoff Parameter. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 44, n. 6, p. 1672 – 1682, jun. 2006

CLICHEVSKY. N. **Vazios urbanos nas cidades Latino – Americanas**. Caderno de Urbanismo. n° 2. 2000. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/smu/paginas/noticias_caderno_ed2-6.htm>. Acesso em: 2 abr. 2007.
CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely sensed Data: Principles and Practices**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1999. 137 p.

CROITORU, A.; TAO, V.; HU, Y.; XU, J.; WANG, F.; LENSON, P. T. The Rational Function Model: a unified 2D and 3D spatial data generation scheme. **ASPRS Annual Conference Proceedings**. mai. 2004. Disponível em: <http://www.spatial.maine.edu/~croitoru/Publications/croitoru_et_al_ASPRS_04.PDF>. Acesso em: 7 mai. 2007.

DELLA ROCCA, M. R. et al. **Using the data fusion technique for producing thematic map**. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING (ISPRS) CONGRESS, XX, Istanbul, 2004. Disponível em: <<http://www.isprs.org/istanbul2004/comm4/comm4.html>>. Acesso em: 02 abr. 2008.

DIGITALGLOBE. **QUICKBIRD imagery products – products guide**. 78 f. 2006. Disponível em: <<http://www.digitalglobe.com>>. Acesso em: 3 abr. 2007.

EL-RABBANY, A. **The Global Positioning System**. Boston: Artech House. 2002. 176 p.

EL-SHEIMY, N. **Digital terrain modelling**. Calgary: Department of Geomatics Engineering of the University of Calgary, 1999.

FAUSTINO, R. C. **Posicionamento por ponto preciso estático e cinemático: Implementação e análise**. 2006. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

FIG - Federação Internacional dos Geômetras. Declaração da FIG Sobre o Cadastro. Disponível em: <<http://www.fig.net/>>. Acesso em: 04 de abril de 2007.

FRASER, C.S., DIAL, G., GRODECKI, J., Sensor orientation via RPCs. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**. p. 182–194. 2006. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/isprsjprs>. Acesso em: 21 out. 2007.

GUIMARÃES, G.; CAMARGO, P. O. Avaliação da qualidade do georreferenciamento com receptor GPS de navegação em linhas de base de até 10 km. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, XXIII, Rio de Janeiro – RJ. 2007.

GALO, M.; CAMARGO, P. O.; **O uso do GPS no controle de qualidade de cartas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 1994, Florianópolis. Anais Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1994.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações**. Paraná: UFPR, 1994. 319 p.

HEROLD, M.; LIU, X. H.; CLARKE, K. C. Spatial Metrics and Image Texture for Mapping Urban Land Use. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 69, n.9, p. 991-1001. Set. 2003.

HENSSEN, J. **Basic Principles of the Main Cadastral Systems in the World**. In: CADASTRE AND RURAL LAND MANAGEMENT, OF THE INTERNATIONAL FEDERATION OF SURVEYORS (FIG), 2005, Netherlands. Disponível em: <https://www.fig.net/commission7/reports/events/delft_seminar_95/paper2.html>. Acesso em: 15 jan. 2007.

HU, Y.; TAO, V. Updating solution of the Rational Function Model using additional control information. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. v. 68, n.7, p.715-723. Jul. 2002.

HU, Y.; TAO, V.; CROITORU, A. **Understanding the Rational Function Model: methods and applications**. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING (ISPRS) CONGRESS, XX, Istanbul, 2004. Disponível em: <<http://www.geoict.net/Research/Publications.htm#2001>>. Acesso em: 02 abr. 2007.

IBGE - **Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/default_censo_2000.shtm>. Acesso em: 1 mai. 2007.

INCRA. **Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. Brasília, Nov. 2003. 42 f.

JACOBSEN, K. Comparison of high resolution mapping from space. In: PROCEEDINGS OF XXIITH INCA CONGRESS, Ahmedabad, Índia. 2002.

JENSEN, J. J.; **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2000. 544 p.

KAUFMANN, J.; STEUDLER, D. **Cadastrre 2014: a vision for a future Cadastral System**. In: FÉDÉRATION INTERNATIONALE GÉOMÈTRES CONGRESS, XXI, Brighton, 1998. Disponível em: < <http://www.fig.net/cadastrre2014/translation/c2014-english.pdf> >. Acesso em: 12 jan. 2007.

KAUFMANN, J. **Cadastrre 2014: a vision on future Cadastral Systems**. In: CONGRESS ON CADASTRE IN THE EUROPEAN UNION CADASTRE 2014, Granada, 2002. Disponível em: < <https://www.fig.net/cadastrre2014/presentation/2002-05-kaufmann-granada-cad2014/slides.pdf> >. Acesso em: 12 jan. 2007.

KONECNY, G. **Geoinformation: Remote Sensing, Photogrammetry and Geographic Informayion Systems**. New York: Taylor e Francis. 2003. 248p.

KUX, H. J. H; PINHEIRO, E. S. Dados do satélite *QUICKBIRD* para o mapeamento do uso e cobertura da terra numa seção da Mata Atlântica no Estado do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XII, Goiânia. **Anais...** 2005. p. 4509-4516.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, Mar. 1977.

LARSSON, G. **Land registration and cadastral systems**. London: Longmam Group UK. 1991.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. CHIPMAN, J. W. Remote sensing and image interpretation. 4 ed. New York: John Wiley & Sons, 2004. 721 p.

LOCH, C. **Interpretação de imagens aéreas: noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais**. 2 ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1989. 118 p.

LOCH, R. N.; KIRCHNER, F. F. Potencialidade de imagem espectral e espacial de alta resolução no fornecimento de dados de uso da terra em áreas degradadas pela mineração. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, X, Foz do Iguaçu, **Anais...** 2001.

LI, Z. On the measure of Digital Terrain Model Accuracy. **Photogrammetric Record**, v.72, n.12, p.873-877, 1988.

LYON, J. C. **Wetland Landscape Characterization: GIS, Remote Sensing and Image Interpretation**. 1º ed. Chelsea: Ann Arbor Press. 2001. 224p.

MARCHETTI, D. A. B.; GARCIA, G. J. **Princípios de Fotogrametria e Fotointerpretação**. 1º ed. São Paulo: Livraria Nobel S.A. 1977. 257 p.

MAGALHÃES, S. F. **Ruptura e Contigüidade: a cidade na incerteza**. 2005. 272 f. Tese (Doutorado em Urbanismo-Prourb) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MCULLAGH, M. J. Terrain and surface modelling systems: theory and practice. **Photogrammetric** , v.72, n.12, p.747-779, 1988.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicação**. 1ª ed. São Paulo: UNESP, 2000. 288 p.

MONICO, J. F. G. **Ajustamento das observáveis GPS no contexto de posicionamento Geodésico**. 2005. 235 f. tese (Livre Docência) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de Aplicação**. São José dos Campos: INPE, 2003. 307 p.

NBR 13133. **Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, mai. 1994.

NBR 14166. **Rede de Referência Cadastral Municipal**. Rio de Janeiro: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, ago. 1998.

NOGUEIRA JUNIOR, J. B. **Controle de Qualidade de Produtos Cartográficos: Uma Proposta Metodológica**. 2003. 143 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 2º ed. São Paulo: Edgard Blücher. 1992. 308p.

OLIVEIRA, F. L. **Vazios urbanos no Rio de Janeiro**. Caderno de Urbanismo. nº 2. 2000. Disponível em: < http://www.rio.rj.gov.br/smu/paginas/noticias_caderno_ed2-6.htm>. Acesso em: 10 abr. 2007.

ÖSTERBERG, T. **What Is an Appropriate Cadastral System in Africa?**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SPATIAL INFORMATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. Kenya, 2001. **Anais eletrônicos...** Disponível em: < <http://www.fig.net/pub/proceedings/nairobi/osterberg-TS13-4.pdf> >. Acesso em: 13 jan. 2007.

PINHEIRO, E. S. **Avaliação de imagens QUICKBIRD na análise geográfica de um setor da mata atlântica do Rio Grande do Sul**. 2003. 185 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos.

POON, J.; SMITH, L.; FRASER, C. **Orthoimage Resolution and quality Standards**. 39 f. University of Melbourne. 2006.

RICHARDS, J. A. **Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1993. 340 p.

SANTOS, A. A.; FLOR, C. D. R. V.; LINS, F. J. C. C. Avaliação de precisão de receptores GPS de navegação através da portadora L1 para fins de Cadastro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, **Anais...**, Florianópolis 2002.

SCHWIEGER, V. **Using handheld GPS receivers for precise positioning**. In: 2nd FIG REGIONAL CONFERENCE, Morrocos, Dez. 2003. **Anais eletrônicos...**, Disponível em: < http://www.fig.net/pub/morocco/proceedings/TS12/TS12_1_schwieger.pdf >. Acesso em: 5 mai. 2007

SCHWIEGER, V.; GLÄSER A. **Possibilities of Low Cost GPS Technology for Precise Geodetic Applications.** In: FIG WORKING WEEK 2005 AND 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE GLOBAL SPATIAL DATA INFRASTRUCTURE (GSDI-8), 2005, Egito. **Anais eletrônicos...**, Disponível em: <https://www.fig.net/pub/cairo/papers/ts_03/ts03_02_schwieger_glaser.pdf>. Acesso em: 5 mai. 2007.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: fundaments, methods, and applications.** 2 Ed. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 2003. 589 p.

SIMÕES, M. G. Modeladores digitais de terreno em Sistemas de Informação Geográfica, 1993, 158f. dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas e Computação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SOUZA, E. M. **Efeito de Multicaminho de alta frequência no Posicionamento Relativo GPS Estático:** Detecção e atenuação utilizando Wavelets, 2004, 141f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

SPÓSITO, M. E. B. **O chão em Presidente Prudente:** a lógica da expansão urbana. 1983. 230 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Rio Claro.

STEIN, A. MEER, F. GORTE, B. **Spatial Statistics for Remote Sensing.** Boston, Dordrecht : Kluwer Academic Publishers. 1999. 284 p.

TAO, V. HU. Y. The Rational Function Model: A Tool for Processing High-Resolution Imagery. **Earth Observation Magazine (EOM).** 2001. **Anais eletrônicos...**, Disponível em: <<http://www.geoict.net/Research/Publications.htm#2001>> Acesso em: 2 mai. 2007.

TAO, V.; HU, Y. A comprehensive study of the rational function model for Photogrammetric processing. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.** v.67, n. 12, p. 1347-1357. dez. 2001.

TAO, V. HU. Y. Use of the Rational Function Model for image rectification. **Canadian Journal of Remote Sensing.** v. 27, n° 6, p. 593-602. dez. 2001.

TAO, V. HU. Y. 3D Reconstruction methods based on the Rational Function Model. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.** v.68, n. 7, p. 705-714. jul. 2002.

TEUNISSEN, P. J; KLEUSBERG, A. **GSP for Geodesy**. 2. ed. Berlin: Springer-Verlag, 1998. 650 p.

TOUTIN, T.; Geometric processing of Remote Sensing images: models, Algorithms and Methods. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 10, p. 1893-1924, 2004.

WELLENHOF, B. H. LICHTENEGGER, H. COLLINS, J. **GPS: theory and practice**. 5° ed. New York: Springer-Verlag. 2001. 389p.

WOLF, P. R. **Elements of Photogrammetry**: with air Photo Interpretation and Remote Sensing. Boston: McGraw-Hill, Inc., 1983, 628p.

WONGPRAYOON, S.; VIEIRA, C. A. O.; LEACH, J. J. H.; **Assessing the Thematic Accuracy for Coral Reef Classification**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPATIAL ACCURACY ASSESSMENT IN NATURAL RESOURCES AND ENVIRONMENTAL SCIENCES, 7, 2006, Portugal, 653-662 p.