

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISA EM SENSORIAMENTO REMOTO E
METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

**ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA
URBANA UTILIZANDO IMAGEM
QUICKBIRD**

CRISTIANE THIEMI MATSUOKA

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo dos Santos da Rocha

Porto Alegre (RS), Agosto de 2006

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais.....	1
1.2 Objetivo Geral.....	2
1.3 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Organização do Trabalho	3
1.5 Justificativa	3

CAPÍTULO II

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
2.1 Cartografia	4
2.2 Base de Informação Cartográfica.....	5
2.3 Atualização Cartográfica	6
2.3.1 Tipos de Atualização Cartográfica	8
2.3.2 Atualização cartográfica em outros países	9
2.4 Sensores Orbitais	9
2.5 Histórico de Imagens de Satélite para Aplicações Urbanas	11
2.6 Quickbird	12
2.7 Legislação Existente para Imagens Orbitais	17
2.7.1 Legislação Internacional.....	17
2.7.2 Legislação Brasileira	18
2.7.3 Legislação Americana.....	18
2.8 Principais Aplicações das Imagens de Alta Resolução.....	19
2.9 Distorções Geométricas.....	20
2.9.1 Erro Causado Pela Rotação da Terra.....	22
2.9.2 Erro Devido à Distorção Panorâmica.....	22
2.9.3 Erros Devidos à Curvatura da Terra.....	23
2.9.4 Distorções Devido a Variações da Altitude da Plataforma	23

2.9.5 Distorções Devido a Variações da Velocidade da Plataforma.....	24
2.9.6 Distorções Devido a Variações da Atitude da Plataforma	24
2.10 Correção Geométrica	25
2.10.1 Transformação Baseada no Modelo de Geometria Orbital	25
2.10.2 Transformação Baseada em Pontos de Controle (Relação Matemática).....	26
2.11 Pontos de Controle para Controle Geométrico da Imagem	27
2.12 Sistema de Posicionamento Global.....	28
2.12.1 Técnicas de Posicionamento GPS	31
2.13 Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC).....	33
2.14 Modelo Digital do Terreno	34
2.15 Ortorretificação	36
2.16 Controle de Qualidade Geométrica de acordo com o PEC.	37

CAPÍTULO III – MATERIAIS E MÉTODOS

3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	41
3.1 Localização Geográfica da Área de Estudo	41
3.2 Informações Cartográficas sobre o Rio Grande do Sul	41
3.3 Base Cartográfica Digita.....	42
3.4 Imagem Quickbird	42
3.5 Equipamentos Utilizados	44
3.5.1 AutoCad Map.....	44
3.5.2 Promark II e Astech Solutions 2.60	44

CAPÍTULO IV – METODOLOGIA

4 METODOLOGIA.....	46
4.1 Manipulação da Base Cartográfica Digital.....	47
4.2 Quantidade de Pontos de Controle.....	47
4.2.1 Levantamento de Pontos de Controle.....	48
4.3 Vetorização da Imagem Quickbird	51
4.4 Sobreposição da Base Cartográfica com a Imagem Vetorizada.....	54

4.5 Avaliação da Qualidade Geométrica em Edifícios	55
--	----

CAPÍTULO IV – RESULTADOS FINAIS

5. DADOS OBTIDOS	57
------------------------	----

5.1 Avaliação Geométrica em Grandes Edifícios	59
---	----

CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusões	60
----------------------	----

6.2 Recomendações.....	61
------------------------	----

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

O processo de mapeamento do Brasil apresenta graves problemas de execução e manutenção da atualidade dos mapas. Pelas dimensões continentais do país os projetos de mapeamentos deveriam ser tratados pelos governantes como prioritários.

De acordo com o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) 2003, um dos grandes problemas na implantação de projetos no Brasil é a falta de documentos cartográficos de qualidade, devido aos vazios existentes, escalas impróprias ou produtos inadequados ao padrão de qualidade estabelecido. No Brasil, os índices atuais de mapeamento nas diferentes escalas evidenciam que a carência de cartas topográficas é mais grave para as escalas maiores: 76,54% (1:250.000), 75,39% (1:100.000), 13,9% (1:50.000), 1,01% (1:25.000).

No âmbito da cartografia urbana, que necessita de mapas de grandes escalas, este problema se agrava pela falta de cultura cartográfica dos administradores municipais. Tendo em vista a dinâmica de crescimento das cidades, a falta de atualização dos mapas apresenta-se como um dos maiores problemas cartográficos. Com o intuito de reverter gradativamente a situação, a comunidade cartográfica vem direcionando esforços na procura de metodologias alternativas de atualização cartográfica, mais rápidas e econômicas que as clássicas metodologias fotogramétricas.

Por esse motivo, está sendo dada maior atenção às imagens de Sensoriamento Remoto orbital que, por serem mais econômicas do que as fotografias aéreas, terem maior resolução temporal e espectral e fornecerem uma visão sinóptica da área de estudo, apresentam-se como uma fonte de informação temática de interessantes características potenciais para fins cartográficos. O lançamento de satélites com sensores de alta resolução espacial (Ikonos 1999 e Quickbird 2001) representou um momento de grande inovação tecnológica para o

Sensoriamento Remoto. Através de modernos sensores, equipamentos de transmissão e de processamento de dados, as imagens orbitais tem apresentado grandes contribuições para diversos campos do saber, inclusive na área de cartografia. Os sensores americanos Ikonos e Quickbird são os mais viáveis para a atualização cartográfica em mapas de grande escala devido a sua resolução espacial de 1 m e 61 cm no modo pancromático respectivamente. As imagens destes sensores possuem uma resolução radiométrica de 11 bits, o que aumenta consideravelmente o poder de distinção entre os alvos a partir de uma gama de níveis de cinza (equivalente a 2048 níveis de cinza) quando comparados aos satélites da série TM-Landsat e Spot (8 bits de resolução radiométrica). Considerando todas essas possibilidades este trabalho irá analisar a eficácia da atualização de imagens orbitais de alta resolução para a atualização cartográfica de grandes escalas.

1.2. Objetivo Geral

O objetivo geral desta dissertação é avaliar o uso de imagem Quickbird para a atualização cartográfica urbana, de acordo com as normas do PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica), a partir de uma base cartográfica digital vetorial.

1.3. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são os seguintes:

- Estabelecer a abrangência do uso de imagem orbital, a fim de investigar as suas limitações.
- Avaliar a qualidade geométrica da imagem Quickbird, em regiões de grande concentração urbana como o centro da cidade.
- Avaliar a qualidade das imagens Quickbird nas grandes edificações.

1.4. Organização do Trabalho

Esta dissertação está dividida em 6 capítulos:

O Capítulo I, apresenta uma breve descrição sobre o processo de atualização cartográfica, juntamente com os objetivos e justificativa deste trabalho.

No Capítulo II na Fundamentação Teórica, que representa um estudo sobre os principais conceitos utilizados para a elaboração desta dissertação. O Capítulo III referente aos Materiais e Métodos, seguido do Capítulo IV apresentado pela Metodologia, que especifica os procedimentos executados para a realização da dissertação. O Capítulo V, tem-se os Dados Obtidos e finalmente o Capítulo VI apresenta as discussões e considerações finais deste trabalho.

1.5. Justificativa

A área de estudo escolhida engloba o centro de Porto Alegre e alguns bairros próximos, os quais encontra-se em grande defasagem em se tratando de documentos cartográficos.

De acordo com a Secretaria de Planejamento Urbano de Porto Alegre, o último levantamento fotogramétrico realizado foi durante o período de maio a junho de 1982 executado pela empresa Aerofoto Cruzeiro. A partir deste levantamento fotogramétrico foram geradas 2069 cartas na escala 1:1.000 e 104 cartas na escala 1:5.000. Durante o período de fevereiro a março de 1987 realizou-se uma atualização parcial, através de métodos fotogramétricos.

Desde o último levantamento houve modificações da paisagem natural e antrópica, em função do aproveitamento dos recursos naturais, do desenvolvimento industrial e agrícola, ampliação da malha rodoviária e do crescimento urbano. Diante disso, há a necessidade de se buscar ferramentas capazes de atualizar as novas feições construídas e não registradas na base cartográfica. Dessa forma, as imagens de satélite constituem poderoso instrumento de planejamento e mapeamento para diversas aplicações e competências do Governo do Estado.

CAPÍTULO II - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Cartografia

Durante muito tempo a cartografia valeu-se de mapas e cartas registradas em papel ou outro material sólido para registrar o modelo da superfície e a representar. A escala da carta apresenta uma relação entre a medida registrada neste modelo e sua correspondente na superfície. Esta imposição física traz diversas conseqüências, amarrando a escala à quantidade de informações a representar e o grau de precisão com que estas informações são registradas.

Ainda hoje, a maioria das representações da superfície da Terra está armazenada sob a forma de cartas analógicas. De acordo com o Congresso da Associação Cartográfica Internacional (ICA) de 1996, as informações cartográficas ainda estão registradas sob a forma de cartas analógicas, numa proporção de 95%. Uma outra conseqüência desta imposição metodológica é o agrupamento da necessidade dos usuários de cartografia em classes de escala. A Tabela 1 representa a relação das atividades com a escala do mapeamento.

Tabela 1 – Relação de atividades / escala. (Fonte: ROCHA, 2002)

Atividades/Escala	1/500	1/1000	1/2000	1/5000	1/10.000	1/50.000
Cadastro Urbano		X	X			
Planejamento Urbano			X	X	X	X
Gerenciamento Urbano			X	X	X	
Redes de Água e Esgoto	X	X	X			
Energia Elétrica			X	X	X	

O usuário define a escala e indiretamente é associado um valor de qualidade geométrica. Com o avanço da tecnologia este quadro está se alterando rapidamente. O emprego da informática em todas as fases de construção de uma carta apresenta como produto final da cartografia uma carta digital, sem escala direta, devendo, no entanto apresentar uma medida de dispersão das informações métricas registradas em relação a suas correspondentes no terreno. Outra

característica das cartas registradas no formato digital é a inexistência teórica de limites da quantidade de informações a serem registradas nos mapas para o desenvolvimento dos projetos, e qual a exatidão posicional requerida.

Apesar da exatidão da carta ser de grande importância na avaliação de sua qualidade, outros fatores também devem ser analisados como a atualidade, a completude e a consistência lógica. (ROCHA, 2002)

2.2 Base de Informação Cartográfica

Em um processo de atualização cartográfica é necessário primeiramente uma base cartográfica de boa qualidade e certificar que a mesma esteja desatualizada.

De acordo com a autora IOEETA (2001), uma base cartográfica pode ser entendida, como uma representação de uma região do território no que diz respeito ao relevo, drenagem natural, e ao sistema viário, com os elementos devidamente posicionados, com exatidão adequada a cada escala de representação, agregando outras informações do ambiente natural ou de fatores antrópicos necessários à sua utilização em atividades vivis típicas de planejamento de engenharia. As bases cartográficas que constituem o Sistema cartográfico Brasileiro, cujas escalas vão desde a carta do Brasil ao milionésimo até a escala 1:25.000, passando pelas escalas 1:500.000, 1:250.000, 1:100.000 e 1:50.000, possuem um denso conteúdo de informações para atividades gerais.

No processo de atualização da base, é necessário que na fase de planejamento, todos os documentos existentes da área de interesse devam ser coletados, podendo estes ser através de imagens orbitais, imagens radarmétricas, cadastros de cidades, fotografias aéreas e etc. Sendo que as imagens orbitais são importantes ferramentas para a atualização, em função da periodicidade da sua tomada.

2.3 Atualização Cartográfica

A carência de mapeamento no Brasil, principalmente em escalas grandes, é agravada pelo fato de grande parte encontrar-se desatualizado, fazendo com que a sua utilização não alcance os objetivos para os quais foram elaborados. Ressaltando o fato da dinâmica de crescimento de grandes cidades desenvolver de uma maneira muito rápida e algumas vezes imprevisível acaba prejudicando a utilização de dados atualizados, o que é fundamental para a administração do espaço urbano. Os métodos para produção de mapas, assim como para atualização cartográfica evoluíram gradativamente como o advento de novos processos tecnológicos, principalmente na área da informática com o mapeamento digital, a utilização de Sistemas de Posicionamento Global (GPS) e imagens de Sensoriamento Remoto.

É indiscutível a importância do Sensoriamento Remoto para a cartografia. A agilidade e a redução de custos obtidos através da utilização de imagens orbitais para a atualização cartográfica vem acompanhadas de uma qualidade cada vez maior no que se diz respeito à resolução espacial e multiespectral de alta tecnologia, atendendo aos requisitos de precisão planimétricas exigidos para escalas do mapeamento sistemático. Deve-se ressaltar o menor custo de aquisição de imagens se comparado a realização de novo recobrimento aéreo.

Segundo ASSIS (2001), a demanda por informações para a tomada de decisões tem esbarrado na falta de atualização dos dados disponíveis, tanto nas áreas rurais quanto de bases cartográficas e relativas ao uso e ocupação do solo. No Brasil a situação é crítica em relação a mapas de bases de dados cartográficos, uma vez que há grande demanda por planejamento de infra-estruturas, típicas de um país em desenvolvimento, mas em contrapartida não existe política sistemática de investimentos em geoinformação.

De acordo com a revista InfoGeo (2000), a falta de mapeamento sistematizado veio á tona, de fato, com a demanda de recentes trabalhos de companhias elétricas e telefônicas, rodovias, ferrovias, mineradoras e áreas de

extrativismo. Em muitos países do mundo, a empresa que adquire um estatal recorre a um banco de dados do governo, e lá pode encontrar uma base cartográfica confiável e atualizada. As empresas que adquirem bens, até então sob o poder do estado, e buscam dados cartográficos de suas aquisições, se deparam com a dificuldade de encontrar mapas que, quando existem, estão desatualizados.

Segundo LOBO (2000) apud ASSIS (2001), o território brasileiro está mapeado em menos de 3% na escala 1:25.000 e menos de 1% na escala 1:10.000, escalas imprescindíveis para projetos econômicos e sociais, além de terem sido realizados nas décadas de 60, 70 e início da década de 80.

As alterações do meio físico, conduzem diretamente a necessidade da atualização cartográfica, que garantirá a utilidade do mapeamento, evitando que este se torne obsoleto, não cumprindo os objetivos a que foi proposto do produto. Este dinamismo do espaço físico exige que a atualização tenha cunho permanente, uma vez que objetiva a manutenção da base cartográfica.

Do caráter duradouro segue a exigência de se estabelecer um programa ininterrupto, a partir da definição de uma política de atualização, que por sua vez implica num planejamento adequado a tal propósito. Numa situação ideal, este planejamento deve fazer parte dos estudos que definirão a política de mapeamento do município, estado ou país, uma vez que, dependendo da taxa de mudanças ocorridas antes de concluído a fase de estabelecimento da base cartográfica.

Se a devida atenção não foi dada a questão, e conseqüentemente um meio de coleta ou monitoramento das alterações não se fizer presente, as dificuldades operacionais para atualizar as cartas podem crescer a tal ponto, que um remapeamento torna-se a única saída viável para garantir a qualidade do produto.

Pelas Constituições Federal, Constituições Estaduais e as Leis Orgânicas dos Municípios, cabe ao Governo Federal, aos estados e municípios a responsabilidade de atualizar os mapeamentos existentes e realizar os que faltam.

Ainda nesta mesma linha de raciocínio, concluindo que a base cartográfica disponível está obsoleta, não atendendo completamente as necessidades dos usuários, e não permitindo um planejamento do espaço físico tão eficiente, o remapeamento de uma determinada região para atender as atuais demandas não evita que os problemas surgirão se um programa de atualização não foi instituído, ou seja, após um determinado período de tempo, as complexidades para uma solução aceitável novamente aparecerão. Naturalmente, remapear de tempos em tempos não garante a qualidade e utilidade plena do sistema cartográfico, uma vez que nos períodos intermediários não há manutenção deste sistema.

Na análise da atualidade de uma carta é importante observar a data em que foram colhidas as informações (vôo fotogramétrico, última atualização). O processo de geração de um documento cartográfico, contando desde a coleta de informações superficial, até a disponibilização para o usuário final, pode levar de 6 meses a 2 anos geralmente. Logo o novo mapa já chega desatualizado

De acordo com ROBBI (1990) apud ROCHA (2002), a dinâmica do meio físico, conduz diretamente a necessidade da atualização cartográfica, que garantirá a utilidade do mapeamento, evitando que este se torne obsoleto, não cumprindo os objetivos a que foi proposto e comprometendo diretamente a relação custo / benefício do produto. Este dinamismo no espaço físico exige que a atualização tenha cunho permanente, uma vez que objetiva a manutenção da base cartográfica.

2.3.1 Tipos de Atualização Cartográfica

O fato da carta ser um relatório gráfico do meio físico num determinado instante, e este por sua vez ser dinâmico, faz com que, continuamente deva existir um processo de atualização. Conseqüentemente novos elementos devem ser adicionados a estas, o que se faz através de duas operações principais envolvidas neste processo:

- 1) Detecção das mudanças ocorridas no espaço objeto

2) Processo de atualização da carta

Os métodos de atualização são classificados em: cíclico, seletivo e contínuo. No primeiro a atualização é realizada em intervalos de tempo pré-definidos. No seletivo, a atualização é realizada segundo uma ordem de prioridades e no contínuo, a carta é mantida em constante atualização. Sem dúvida, a atualização contínua é a mais recomendada. No entanto, em alguns casos é a de maior custo e em outros casos, de difícil implantação. A utilização deste ou daquele método dependerá da dinâmica de alteração superficial, da finalidade das cartas e dos recursos disponibilizados para atualização. (ROBBI, 1990 apud ROCHA, 2002).

2.3.2 Atualização cartográfica em outros países

Nos Estados Unidos da América, levantamentos aéreos são realizados em média a cada cinco anos, e comparados com os mapeamentos existentes, levando em consideração também a densidade populacional das regiões. Na Alemanha, os mapas cadastrais são atualizados até o nível de novas edificações; um exemplo disso é a cidade de Hannover, onde equipes de levantamento de campo realizam a atualização cadastral de todas as novas edificações construídas ao longo de um ano.

Nos países da Europa e América do Norte, as diferentes esferas governamentais são obrigadas a informar as Agências Nacionais de Mapeamento as construções e alterações de novas rodovias, estradas de ferro, canais, pontes, linha de alta tensão, etc. Tal procedimento deveria ser estabelecido no Brasil, uma vez que seria impossível ao Governo Federal monitorar todo o espaço territorial do nosso país. (ASSIS, 2001)

2.4 Sensores Orbitais

Cada vez mais o Sensoriamento Remoto constitui uma importante fonte de informações, especialmente quando se necessita da visão global de uma

determinada área. Apesar de, por enquanto, as imagens de satélite não possibilitarem uma análise minuciosa sem que haja um mapeamento detalhado a priori.

As imagens de satélite de alta resolução sempre foram utilizadas exclusivamente para uso militar, mas desde que os serviços de imageamento de alta resolução por Sensoriamento Remoto deixaram de ser privilégio das instituições militares e agências de espionagem internacionais, essas imagens foram ficando cada vez mais acessíveis e passaram a ser amplamente disponibilizadas. Entretanto, ainda hoje, existem diferenças entre os produtos de mercado e os de uso militar.

A evolução de sensores de alta resolução como, por exemplo, IKONOS II e Quickbird e demais satélites viabilizaram a utilização de imagens orbitais de alta resolução na atualização cartográfica em grandes escalas.

Segundo ROCHA (2002) apud BRANDÃO (2003), imagens de alta resolução só foram obtidas com o aperfeiçoamento dos sensores que passaram a ter resolução espacial, radiométrica, espectral e temporal cada vez mais apurada, mudando o modo de usar as imagens de satélite, pois se anteriormente um pixel continha vários objetos, agora, um objeto contém vários pixels. Em Sensoriamento Remoto o termo resolução desdobra-se em quatro categorias independentes:

- Resolução Espacial: Capacidade de produzir imagens distinguíveis de objetos cada vez menores, e é comumente definida como a área unitária no terreno referente a um pixel.
- Resolução Espectral: Capacidade de captar dados de cada vez mais bandas do espectro eletromagnético, e com diferenças de magnitude cada vez mais perceptíveis.
- Resolução Radiométrica : Relacionada à sensibilidade do sensor, ou detector, para diferenciar os níveis de intensidade do sinal registrado do fluxo de radiação

refletido ou emitido pelo terreno. Em imagens digitais é a quantidade de bits utilizados para armazenar os dados referentes a um pixel.

- Resolução Temporal: Intervalo mínimo de tempo entre a aquisição de duas imagens consecutivas de uma mesma área.

As imagens obtidas por sensores orbitais de alta resolução espacial são consideradas como uma boa alternativa para mapeamento de áreas urbanas. Tais imagens consistem de bandas multiespectrais, de menor resolução espacial, e pancromática, de maior resolução espacial. A resolução espacial das imagens Quickbird é de 61cm no modo pancromático, e de 2,5 m no modo multiespectral.

2.5 Histórico de Imagens de Satélite para Aplicações Urbanas

De acordo com o autor ASSIS (2001), a resolução espacial das imagens de satélite é limitada pelo sensor remoto que foi utilizado, sua aplicação ficou restrita, a até alguns anos atrás, aos estudos de clima, agricultura, mineração, controle de queimadas, monitoramento de florestas, etc, enfim, aplicações que abordavam grandes áreas terrestres.

Nos últimos vinte anos, sensores orbitais começaram a ser empregados para finalidades de cartografia. No início dos anos 70, a melhor resolução espacial, menos elemento visível do terreno, era de 80 m. Esta resolução permitia uma precisão cartográfica em escala de até 1:250.000.

Nos anos 80 a resolução espacial dos sensores passou para 30 m (sensores multiespectrais temáticos) e 10 m (sensores pancromáticos) respectivamente, aumentando consideravelmente a capacidade de identificação de elementos terrestres, permitindo a utilização destas imagens na atualização cartográfica de sistemas viários, redes de hidrografia e até estruturas urbanas mais simples, compatíveis com escalas de 1:100.000 e até 1:50.000.

Por fim, nos anos 90, surgiam sensores de alta resolução, como o satélite Ikonos II, lançado em meados de 1999, com imagens multiespectrais de resolução de 4 m e em pancromática com resolução de 1 m, possibilitando a produção de mapas em escalas de 1:100.000 e até 1:5.000. E no ano de 2001, foi lançado o satélite Quickbird com maior resolução espacial. (ASSIS, 2001).

2.6 Quickbird

A partir da metade da década de 90, buscando superar algumas limitações das imagens adquiridas pelos satélites da série LANDSAT (*Landsat Satellite*), SPOT (*Satélite Pour l'Observation de la Terra*), entre outros, foram lançados novos sistemas orbitais com alta resolução espacial (TANAKA e SUGIMURA apud PINHEIRO, 2003).

No ano de 2000 a empresa norte-americana *DigitalGlobe*, responsável pelo programa do Quickbird, obteve a licença do satélite NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) para operar um sistema com alta resolução espacial. Em outubro de 2001 o satélite Quickbird foi lançado em órbita. O projeto e a construção do satélite foi realizado através da cooperação entre a empresa *DigitalGlobe, Ball Aerospace & Technologies, Kodak e Fokker Space*. A empresa *Ball Aerospace & Technologies* foi responsável pela construção do veículo transportador. O plano focal incluindo o CCD linear, instalações de compressão de imagens e eletrônica associada foram fornecidas pela *Kodak*. (*DigitalGlobe*, 2005)

O satélite foi posto em órbita a partir da base norte-americana *Vanderberg Air Force Base* localizada na Califórnia por meio do veículo lançador Boeing Delta II. A Figura 1 e a Tabela 2 ilustram, respectivamente, as especificações técnicas e o satélite Quickbird.



Figura 1 – Satélite Quickbird. (Fonte: www.engesat.com.br)

Tabela 2 – Características do sensor Quickbird (Fonte: PINHEIRO, 2003)

Data de Lançamento	18/10/2001
Local:	Califórnia
Precisão métrica	Horizontal: 23 m (CE 90%) Vertical: 17 m (LE 90%)
Massa do satélite	1018 kg
Resolução temporal	1-3 dias (dependendo da latitude)
Resolução espectral	Pan: 450 - 900 nm Azul: 450 – 520 nm Verde: 520 – 600 nm Vermelho: 630 – 900 nm
Resolução radiométrica	11 bits
Resolução espacial	61 cm (nadir) até 72 cm (off-nadir) - Modo Pancromático 2,44m (nadir) até 2,88 m(off-nadir) – Modo Multiespectral

Segundo PINHEIRO (2003), para especificar a precisão geométrica das imagens deste satélite foi utilizado um modelo de propagação de erros. Desta forma, foi considerada a precisão da telemetria do satélite e do sistema de

navegação a bordo, sistema de 3 eixos estabilizados, sistema de navegação inercial e GPS, entre outros. O erro induzido pela reamostragem também foi considerado quando da “correção geométrica de sistema” os dados de precisão do controle de órbita e das efemérides do Quickbird, até o momento, são valores restritos ao proprietário deste. O satélite possui sensores do tipo *Charge Coupled Device* (CCD), que realizam varredura eletrônica em fileira linear (*pushbroom linear array*) flexíveis para visadas *off-nadir* até 30°, ao longo do terreno imageado (*along-track*). A visada *off-nadir* permite a cobertura mais freqüente do terreno e que sejam adquiridas imagens com estereoscopia.

O sistema do sensor Quickbird captura imagens no modo Pancromático (PAN) e Multiespectral (MS). A *DigitalGlobe* disponibiliza imagens nas formas PAN, MS e uma imagem denominada “*Pan-sharpened*” que possui 0,61cm de resolução uma composição colorida natural (vermelho, verde e azul) ou infravermelho (vermelho, verde e infravermelho-próximo). As imagens PAN e MS são adquiridas com 11 bits, podendo ser entregues em 8 bits ou 16 bits. A grande capacidade de armazenamento de dados, aliado ao fato de que este satélite captura cenas de 2 a 10 vezes maiores que qualquer outro satélite de alta resolução, fazem com que o Quickbird seja o melhor em sua categoria até o momento. A Tabela 3 especifica a órbita do satélite Quickbird.

Tabela 3 – Característica da órbita do satélite (Fonte: www.engesat.com.br)

Altitude da órbita	450 km
Duração	93.5 min
Inclinação	97.2°
Sentido	Descendente 10:30
Tipo	Sol-síncrona
Largura da faixa imageada	16,5 km (nadir)

As imagens são comercializadas em três diferentes níveis de correção, Básica (*Basic*), Padrão (*Standard*), Ortoretificada (*Orthorectified*). Os dois primeiros produtos podem ser submetidos a um processamento geométrico feito pelo usuário, enquanto que o último já é ortoretificado pela Digital Globe.

Imagem Básica

A imagem Básica (*Basic Imagery*) possui o menor processamento. As imagens do tipo *Basic* possuem as correções radiométricas e do sensor, entretanto não há correção geométrica. Segundo a *Euroimage* (2002), as correções aplicadas nestas imagens são:

- Resposta radiométrica relativa entre os detectores;
- Preenchimento de possíveis detectores que falharam;
- Correções da geometria interna do sensor, distorções ópticas e distorções do “*scanner*”.

As imagens comercializadas neste formato possuem exatidão horizontal de 14 m EMQ (Erro Médio Quadrático) (23 m erro circular – CE, com 90% de certeza), excluindo os deslocamentos topográficos.

Imagem Padrão

A imagem Padrão (*Standard Imagery*) possui as seguintes correções: radiométricas, do sensor, geométricas, além de serem designadas para uma Projeção Cartográfica. Estes produtos possuem resolução espacial de 0,7m (PAN) e 2,8 (MS). As correções radiométricas e do sensor são as mesmas aplicadas nos produtos *Basic*. Este produto não é ortorretificado, um MDE (Modelo Digital de Elevação) “com baixa exatidão” pode ser utilizado para corrigir as distorções decorrentes da topografia.

Os produtos *Standard* possuem exatidão acima de 14m EMQ (acima de 23 m CE com 90% de certeza), excluindo as distorções do relevo. A posição no terreno é medida através dos dados de altitude do satélite e das efemérides. É necessário utilizar pontos de controle para refinar a geometria da imagem. As imagens podem ser adquiridas com as Projeções Geográfica UTM e *State Plane*

Coordinate System; e com os Elipsóides e Datum: Bessel 1841, NAD27, GDA 1994, GRS80 e WGS 84, respectivamente (*DigitalGlobe*, 2005).

Imagem Ortorretificada

A Imagem Ortorretificada (*Orthorectified Imagery*) é ideal para mapeamentos e SIG, para a verificação de mudanças de uso da terra e aplicações que necessitam de alto grau de exatidão. As imagens do tipo *Orthorectified* possuem as mesmas correções radiométricas e do sensor dos produtos já citados, o que as diferencia é a sua ortorretificação. Conforme *DigitalGlobe* (2005), nestas imagens duas fontes de distorções são corrigidas: distorção introduzida devido à geometria de visada (inclusive efeitos topográficos) e distorção introduzida devido ao sensor.

Segundo a *DigitalGlobe* (2005) na correção das bandas MS as distorções derivadas da geometria de visada utilizam informações de uma única faixa imageada e posteriormente é aplicada a todas as faixas imageadas de cada banda. As correções das distorções do sensor incluem informações específicas das bandas. No processo de correção são utilizados cálculos para o ajuste da geometria de visada, e estes são combinados com as correções da geometria do sensor e aplicados individualmente às faixas. Resulta disso uma imagem retificada e registrada.

Arquivos ISD

Todos os produtos do Quickbird são utilizados com arquivos “metadata” denominados dados de Suporte à Imagem (*Image Support Data - ISD*), úteis para as correções geométricas das imagens. Segundo a *DigitalGlobe* (2005), o número e o tipo de arquivos disponibilizados varia com o tipo de produtos. A Tabela 4 apresenta uma descrição para cada tipo de arquivo ISD.

Tabela 4 – Descrições de arquivo ISD. (Fonte: Pinheiro 2003)

Nome do arquivo	Extensões	Basic	Standard	Orthorectified
Atitude file	.att	X	-	-
Ephemeris file	.eph	X	-	-
Geometric Calibration file	.geo	X	-	-
Lincense file	.txt	X	X	X
Image Metadata file	.imd	X	X	X
Readme file	.txt	X	X	X
RPC00A file	.rpc	X	X	X
Title Map	.til	-	x	X

2.7 Legislação Existente para Imagens Orbitais

Com o uso cada vez maior de imagens de alta resolução, surgem fortes questionamentos éticos e políticos quanto ao uso das informações derivadas dos dados coletados por estas plataformas. Diversos satélites já conseguem visualizar objetos com poucos centímetros de área, ameaçando à privacidade e a liberdade dos cidadãos e a soberania dos Países/Estados, por deixarem completamente à mostra boa parte de seus mecanismos de proteção e defesa.

Apesar da popularização da tecnologia de Observação da Terra e de décadas de existência, esta atividade ainda não conta com uma Legislação ampla, que pudesse regulamentar o seu uso (PINHEIRO, 2003).

2.7.1 Legislação Internacional

O único instrumento internacional regulatório do Sensoriamento Remoto é a Resolução 41/65 da Assembléia Geral da Organização das Nações Unidas, datada de 9 de dezembro de 1986, intitulada “Princípios sobre Sensoriamento Remoto”.

Esse documento estabelece quinze princípios que devem ser seguidos na execução de atividades de Sensoriamento Remoto. O documento em si é mais uma lista de recomendações que um instrumento de direito coercitivo. Além disto, não fazem parte do documento disposições a respeito do uso de tecnologias de observações da Terra para fins militares, mesmo que na prática este setor seja um dos maiores campos de utilização, tornando sua aplicação muito restrita (MUSSI apud BRANDÃO R.A.A., 2003).

2.7.2 Legislação Brasileira

O Brasil conta com o Projeto de Lei nº 3587 que visa regulamentar as atividades de Sensoriamento Remoto do território Nacional (terrestre, aéreo ou marítimo), atribuindo esta tarefa à Agência Espacial Brasileira sem, contudo, excluir o Ministério da Defesa nos episódios em que se faça necessários um juízo sob a ótica da segurança nacional.

Todos os contratos firmados entre instituições nacionais e entidades estrangeiras (governamentais ou privadas) são regidos pela Agência Espacial Brasileira, que somente regula as atividades relativas à recepção, processamento e distribuição dos produtos derivados do levantamento espacial, não abrangendo objetivamente o imageamento do território. (MUSSI apud BRANDÃO R.A.A., 2003).

2.7.3 Legislação Americana

Os Estados Unidos diferentemente do contexto internacional tem uma regulamentação bem vasta sobre Sensoriamento Remoto.

A primeira entre as principais leis norte-americanas sobre o Sensoriamento Remoto é denominada de "*Land Remote Sensing Act 1994*", sendo particularmente dirigida ao sistema Landsat. Entretanto, esta lei estabelece procedimentos gerais sobre o uso do Sensoriamento Remoto no país.

Outra lei importante é a denominada “*Commercial Space of 1998*” que estabelece as regras gerais para o uso comercial das diversas formas das atividades espaciais.

Já a lei denominada “Remote Sensing Applications Act of 2001”, estabelece fontes de recursos para estimular o uso de produtos decorrentes do Sensoriamento Remoto em bases comerciais e para uso oficial.

Como se pode ver, existe nos Estados Unidos um cuidado todo especial no sentido de regulamentar os diversos aspectos do Sensoriamento Remoto. (MUSSI, 2003 apud BRANDÃO R.A.A., 2003).

2.8 Principais Aplicações das Imagens de Alta Resolução

Segundo (MUSSI, 2003 apud BRANDÃO R.A.A., 2003), atualmente é difícil imaginar uma atividade humana que não se utilize, direta ou indiretamente, informações coletadas por Sensoriamento Remoto. Até no dia a dia de jornais ou noticiários de TV encontra-se imagens de satélites meteorológicos analisadas pra previsão do tempo.

Dentre as áreas que mais utilizam rotineiramente os produtos de Sensoriamento Remoto, podemos destacar:

- Cartografia – atualização cartográfica existente, levantamento planimétrico, elaboração de mapas urbanos, etc;
- Hidrologia - gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos, controle de enchentes, mapeamento e monitoramento da qualidade da água, etc;
- Oceanografia – controle da pesca ilegal, identificação de icebergs, monitoramento de derreamento de óleos e poluentes; etc.
- Planejamento Territorial e Urbano - identificação, manutenção e planejamento de infra-estruturas, identificação de ocupações clandestinas, etc;
- Meio Ambiente – avaliação de impactos ambientais, identificação e análise da degradação causada por mineração, análise e monitoramento de riscos ambientais, etc;

- Geologia – identificação de afloramentos rochosos, identificação de áreas de risco naturais, identificação de processos erosivos e sedimentares, etc;
- Agricultura – planejamento e monitoramento agrícola, classificação de áreas cultivadas, estimativa das pedras causadas por desastres naturais como alagamento, seca, granizo, vento ou tempestade de chuva, etc;
- Telecomunicações – implantação de redes, através do mapeamento de ventos (arruamentos, quadras, redes, etc) segmentados a cada trecho, maior precisão nos cálculos de previsão de RF (Rádio Freqüência), etc;
- Engenharia - identificação e planificação de infra-estrutura (rodovias, ferrovias, pontes, etc), avaliação de danos em infra-estrutura causados por desastres naturais, etc;
- Logística e Geomarketing - identificação de áreas da cidade onde o produto não possui boa aceitação, direcionamento de publicidade ou divulgação, identificação dos públicos atingidos, etc;
- Geoprocessamento – Análise espacial dos banco de dados geográficos, geoestatísticas, etc;
- Medicina – Monitoramento e vigilância de doenças, monitoramento de unidades de resgate, localização e identificação de hospitais, etc;
- Defesa Militar - Identificação e monitoramento de armamentos, bases aéreas, aeronaves estacionadas, etc.

2.9 Distorções Geométricas

As imagens geradas por sensores remotos, sejam elas fotos, imagens de satélite, são sujeitas a uma série de distorções espaciais, não possuindo, portanto uma precisão cartográfica quanto ao posicionamento dos objetos nela representados. Isso porque durante a aquisição da imagem, os satélites não se movimentam numa órbita ideal, estando sujeitas a mudanças contínuas da atitude (orientação do satélite) e deslocando-se vários metros ao longo de sua órbita durante o tempo de deslocamento da plataforma em relação à superfície da Terra,

ocorre também o movimento da Terra em relação ao satélite, fazendo com que as imagens recebidas pelas Estações de Recepção e gravadas estejam afetadas por distorções geométricas. (ISHIKAWA, 2001). A extração de qualquer tipo de informação numa imagem proveniente de um sensor, tais como, distâncias, áreas e orientação de direções requer o conhecimento de um modelo matemático entre os espaços objeto e imagem, ou seja, a extração de feições em imagens orbitais, seja para produção ou atualização cartográfica, pode ser feita quando a localização dos detalhes presentes na imagem é determinada em algum sistema cartográfico e de referência.

As distorções geométricas ocorridas nos dados de Sensoriamento Remoto podem ser agrupadas em:

- Sistemáticas: Oriundas da fabricação do sensor e da movimentação durante a aquisição dos dados. Muitas das distorções sistemáticas são removidas durante o pré-processamento. Como exemplo dos erros devidos às distorções sistemáticas, tem-se a distorção panorâmica, variação da velocidade da plataforma e efeito de rotação da Terra.
- Não Sistemáticas : São resultados de variações ou perturbações na plataforma, exemplos: variações na altitude e na atitude do satélite.

Segundo RICHARDS (1999), algumas distorções geométricas podem ser corrigidas analisando as características do sensor e as efemérides, é o caso das distorções geradas devido à perspectiva de imageamento como a curvatura terrestre. Os erros devido às distorções não sistemáticas, como a variação da altitude e atitude do satélite podem ser corrigidos com o uso de pontos de controle. Todos os erros podem ocorrer em imagens de alta resolução espacial, com exceção do erro devido a curvatura terrestre, por cobrir uma pequena porção da superfície terrestre. Entretanto, os erros de maior impacto estão associados ao modo de varredura do sensor, em sensores capazes de oscilar os espelhos para a coleta de imagens de fora do nadir. Os próximos itens descrevem os erros devido às distorções sistemáticas e não sistemáticas, respectivamente.

2.9.1 Erro Causado pela Rotação da Terra

De acordo com RICHARDS (1999), um ponto imageado na superfície terrestre está deslocado para oeste devido ao movimento de rotação da Terra (de oeste para leste) no momento da aquisição da janela de imageamento. Caso as linhas imageadas estejam arranjadas em forma de grade pode-se perceber que estas terão deslocamentos para leste, em relação ao terreno, é necessário realizar uma compensação. Este deslocamento para oeste depende da velocidade relativa do satélite, da velocidade de rotação da Terra e do comprimento da janela do imageamento. A Figura 2 representa o erro causado pela rotação da Terra no tempo de aquisição da imagem, onde a letra a representa a imagem em uma grade, e a letra b, descreve o recuo de linhas sucessivas para o oeste, devido ao movimento de rotação da Terra durante o tempo de aquisição da imagem.

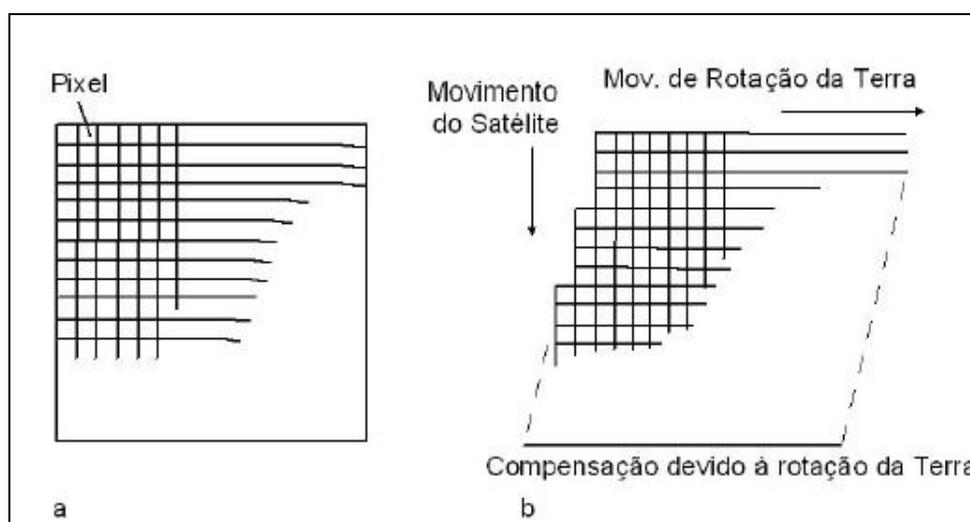


Figura 2 - Erro causado pela rotação da Terra. (Fonte: Adaptado de RICHARDS, 1999)

2.9.2 Erro Devido à Distorção Panorâmica

Para sensores usados por plataformas orbitais e aerotransportados ao valor do IFOV (*Instantaneous Field of View*), o qual refere-se a um valor constante do pixel em graus. Esse valor constante faz com que os pixels na extremidade da

imagem sejam mais largos do que aqueles localizados no centro ou próximo a ele. A dimensão do pixel numa visada nadir (normal a superfície) possui um determinado valor, mas numa visada fora do nadir (obliqua) a dimensão do pixel é maior. Esse problema ocorre numa maior intensidade em sistemas que possuem um largo campo de visada, como Landsat. Em sistemas onde o valor do campo de visada é pequeno esse problema não é tão acentuado

2.9.3 Erros Devido à Curvatura da Terra

Os efeitos devido a curvatura terrestre são negligenciáveis para fotografias aéreas, devido à baixa altitude da aeronave, que assim cobre uma pequena porção do terreno. Desta forma, satélites como Spot, Quickbird e Ikonos também possuem os erros oriundos deste efeito negligenciáveis, pois a dimensão linear da faixa de varredura é bastante estreita. Entretanto, sensores que possuem um largo campo de visada sofrem problemas devido a curvatura terrestre, como o satélite NOAA. O efeito do tamanho do pixel é o mesmo causado na distorção panorâmica. A dimensão do pixel na visada normal possui valor correto, de acordo com a resolução espacial de cada sistema sensor, já os pixels que estão fora do nadir (obliqua) sofrem uma distorção possuindo, portanto um aumento no seu tamanho, causando uma distorção geométrica na imagem.

2.9.4 Distorções Devido a Variações da Altitude da Plataforma

Segundo RICHARDS (1999), na rotação nos eixos de rotação do satélite – variações na elevação ou altitude nas plataformas orbitais podem trazer problemas de escala mediante a valores constantes de ângulo do campo de visada e do IFOV e para um aumento na variação na altitude, durante o deslocamento do sistema sensor, que é reduzida quando se comparada com o tempo de aquisição da cena.



Figura 3- Distorção causado pela variação de altitude. (Fonte: Adaptado de RICHARDS, 1999)

2.9.5 Distorções devido a variações da velocidade da plataforma

A mudança de velocidade da plataforma acarretará uma mudança de escala na direção da trajetória, ocorrendo uma deformação no pixel na direção longitudinal de varredura.

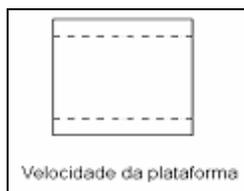


Figura 4 - Distorção decorrente da variação de velocidade da plataforma (Fonte: Adaptado de RICHARDS, 1999)

2.9.6 Distorções devido a variações da atitude da plataforma

A variação da atitude da plataforma representada pelos ângulos *yaw*, *pith* e *roll* interfere na rotação e deslocamentos longitudinal e transversal da varredura, como mostra a figura abaixo. Normalmente, costuma-se nas estações em terra observar as efemérides dos satélites e analisar se há alguma variação, caso haja, correções são aplicadas antes do imageamento da área. Segundo YAMAKAWA & FRASER (2004) apud PEDRO (2005) variações dinâmicas no ângulo *pitch*, que representa a variação da atitude do sensor, devem ser observadas, pois geram uma reamostragem não uniforme na imagem. Acelerações freqüentes ou perturbações no sensor também interferem na correta coleta da imagem. As imagens Quickbird são as mais suscetíveis a esses tipos de erros devido a contínua reorientação do sensor durante a captura.



Figura 5 – Movimentos yaw, pitch e roll (Fonte: RICHARDS, 1999)

2.10 Correção Geométrica

De acordo com BERNSTEIN (1983) a imagem representa um arranjo de dados digitais na qual representa uma projeção perspectiva unidimensional geometricamente distorcida de uma pequena parte da superfície terrestre. Tal imagem está geometricamente corrigida, se possuir um sistema de coordenadas cartográficas da mesma área.

Segundo CRÓSTA (1992) a relação entre os sistemas de coordenadas (mapas e imagem) pode ser calculada de duas formas. A primeira é através do conhecimento dos parâmetros geométricos da órbita do satélite e de outras variáveis, também chamada de modelo de geometria orbital. A segunda, e mais comum, forma de se calcular a relação entre os dois sistemas de coordenadas é através da definição de pontos de controle no terreno, que tem de ser reconhecíveis tanto na mapa como na imagem.

2.10.1 Transformação Baseada no Modelo de Geometria Orbital

A transformação relativa ao modelo de geometria orbital é baseada na natureza e na magnitude da fontes de distorção, se baseia no conhecimento das características da órbita do satélite e da rotação da Terra. Essa técnica possui um baixo grau de precisão.

Os tipos e distorções eliminados por essa transformação são mudanças de escala, correção de Skew (ângulo de inclinação entre a projeção da órbita em relação ao eixo norte-sul da Terra), correção do efeito de rotação da Terra durante o processo e aquisição da imagem (a título de exemplo, o deslocamento relativo

entre a primeira e a última linha de uma imagem MSS em uma latitude 50° é mais de 8 km), correção no efeito da curvatura terrestre e distorção panorâmica devido a visada off-nadir (visada oblíqua) do sistema sensor.

Esse tipo de correção já é executado pelas empresas que fornecem o produto aos usuários, de acordo com as efemérides de cada plataforma orbital. Essas efemérides não são fornecidas junto com o produto, conseqüentemente o usuário não pode assim fazer uma correção desses efeitos na imagem. Como é um processo onde a precisão não é muito boa, há a necessidade de se fazer uma correção mais refinada. (ISHIKAWA, 2001)

2.10.2 Transformação Baseada em Pontos de Controle (Relação Matemática)

O uso de pontos de controle no terreno permite uma precisão mais elevada no processo de correção geométrica em uma imagem. Conseqüentemente essa precisão será diretamente proporcional à identificação, localização, precisão, distribuição e quantidade dos pontos de controle.

Para que se possa estabelecer uma relação matemática entre os pontos do terreno e os correspondentes na imagem é necessário que se tenha um mapa planialtimétrico confiável em uma escala adequada na área em questão, visto que os pontos de controle terão que ser precisamente identificados na imagem e no mapa. No Brasil, há uma grande dificuldade em se trabalhar com mapas pois os mesmos são antigos, ou não possuem algum teste de qualidade de cartas. Em locais onde isso ocorre, a alternativa é fazer um posicionamento geodésico no terreno de alguns pontos identificáveis nas imagens, usando, por exemplo, o GPS (Global Positioning System), o que por outro lado representa um custo elevado. (PATROCÍNIO, 2004)

Se essas relações (funções matemáticas) são conhecidas pode-se localizar um ponto na imagem conhecendo o ponto correspondente no mapa. Em princípio a recíproca é verdadeira. Pode-se construir uma imagem geometricamente correta. O conceito por trás deste método é o de estabelecer as diferenças de

posicionamento de alguns pontos na imagem e no mapa. A partir dessas diferenças, a natureza da distorção presente na imagem pode ser estimada e uma transformação adequada pode ser computada, no sentido de corrigir a imagem.

Normalmente usa-se modelos polinomiais de primeiro, segundo ou de terceira ordem, como modelos matemáticos para corrigir geometricamente a imagem. Mas podem ser usadas as equações projetivas, transformações da similaridade (isogonal) entre outras. Uma solução bastante rigorosa é a equação da colinearidade, bastante utilizada em fotogrametria para fins de registro de imagens, mas é necessário o conhecimento da geometria de visada do satélite o que não é fornecido pelas empresas. Os modelos mais usados são os modelos polinomiais, que é um método empírico, possui uma grande vantagem de não requerer o conhecimento da geometria do satélite, sendo necessário apenas contar com pontos de controle precisos e em quantidade suficiente. (PATROCINIO, 2004)

2.11 Pontos de Controle para Controle Geométrico da Imagem

Segundo CASPARY (2001) apud ROCHA (2002) a avaliação das cartas digitais são consideradas para os seguintes aspectos: origem dos dados, precisão de posicionamento, precisão dos atributos, consistência lógica, completude, atualidade. O mesmo autor complementa a informação, citando que é necessário também ser acrescida a questão da semiografia adotada no modelo de representação cartográfica, considerando-se que isso permitirá a avaliação do modelo quanto à facilidade para leitura e compreensão das informações transmitidas.

Na avaliação da qualidade posicional planimétrica da imagem orbital utilizou-se a fórmula empregada por ROCHA (2002) adaptada de PEREIRA (1978) e citada por PATROCINIO (2003), na qual são observados os procedimentos para a definição do tamanho da amostra a ser verificada na avaliação

Na impossibilidade de testar todos os pontos registrados no mapa, utiliza-se uma amostra destes pontos com tamanho suficiente para representar, dentro de um nível de aceitação, a população envolvida.

O tamanho da amostra pode ser calculado aplicando-se a fórmula apresentada por PEREIRA (1978).

$$n = \frac{Z^2 * \gamma^2 * N}{(N - 1) * \varepsilon_r^2 + Z^2 * \gamma^2}$$

Onde:

n = Tamanho da Amostra

N= Tamanho da População (quantidade de pixels na imagem)

Z= Intervalo de Confiança

$$\gamma = \frac{\sigma}{\mu}$$

σ = Desvio Padrão Amostral

μ = Média Amostral

ε_r = Erro Amostral Relativo

Para o cálculo do tamanho amostral deve-se definir o intervalo de confiança e o erro amostral relativo, assim como aplicar valores referentes à média da amostra e seu respectivo desvio padrão.

O valor do intervalo de confiança (Z) e o erro amostral são atribuídos em função da precisão da estimativa, finalidade da pesquisa, custo econômico e tempo disponível.

2.12 Sistema de Posicionamento Global

O GPS, ou NAVSTAR-GPS (*NAVigation Satellite with Time And Ranging*), é um sistema de radionavegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa (DoD – *Department of Defense*) dos Estados Unidos da América com o objetivo de ser o

principal sistema de navegação das forças armadas americanas. Sua origem vem da fusão de dois programas o *Timation*, desenvolvido pela marinha, e o *Sistema 621 B*, desenvolvido pela força aérea. (MONICO2000)

“O sistema GPS fornece o tempo, a posição e a velocidade, assim, ele tornou-se a técnica de posicionamento eficiente e, conseqüentemente a mais utilizada de todos os tempos“ (SÁ 2002 apud MONICO, 2000).

Os primeiros protótipos e satélites de desenvolvimento (Bloco I) foram lançados entre 1978 e 1985, totalizando 11 satélites dispostos em dois planos orbitais com 63° de inclinação. A capacidade operacional inicial foi declarada em 8 de dezembro de 1993, quando 24 satélites (Blocos I, II e IIA) estavam operando com êxito. O sistema consiste, atualmente, de 24 satélites ativos, os quais estão distribuídos em 6 órbitas planas. Cada plano possui uma inclinação de 55° em relação ao plano do Equador. Todos os satélites estão a cerca de 20.000 km acima da Terra e completam uma revolução inteira em torno da Terra, a aproximadamente cada 11 horas e 58 minutos (horas siderais).

A constelação atual de satélites GPS garante a denominada cobertura tridimensional, ou seja, a todo instante, em qualquer lugar da superfície terrestre, pelo menos quatro satélites podem ser observados.

O princípio básico de navegação pelo GPS consiste na medida de distâncias entre a antena do receptor do usuário e quatro satélites. Conhecendo as coordenadas dos satélites num sistema de referência apropriado, é possível calcular as coordenadas da antena do usuário no mesmo sistema de referência dos satélites. Do ponto de vista geométrico, apenas três distâncias, desde que não pertencentes ao mesmo plano, seriam suficientes. Nesse caso, o problema se reduziria à solução de um sistema de três equações, a três incógnitas. A quarta medida é necessária em razão do não-sincronismo entre os relógios dos satélites e do receptor do usuário, adicionando uma incógnita ao problema.

Uma característica muito importante da tecnologia GPS, em relação aos métodos de levantamento convencionais, é a não necessidade de intervisibilidade

entre as estações. Além disso, o GPS pode ser utilizado sob quaisquer condições climáticas (MONICO, 2000).

O sistema GPS é dividido em três segmentos principais, como ilustra a Figura 6:

- O *segmento espacial*, constituído pelos satélites que transmitem os sinais usados no posicionamento GPS;
- O *segmento de controle*, que é responsável pela manutenção do sistema;
- O *segmento de usuários*, contendo todas as aplicações e tipos de receptores.

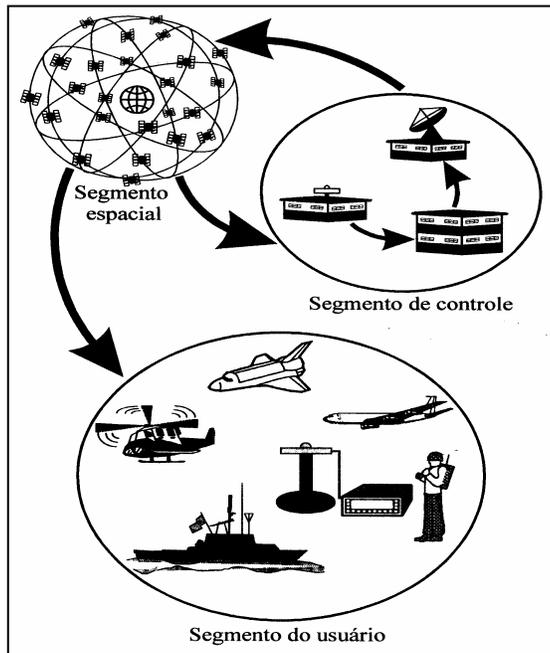


FIGURA 6 – Segmentos do sistema GPS (Fonte: Adaptado de Matsuoka, 2003).

Em condições normais, há 4 satélites em cada órbita, como mostra a Figura 7. Os satélites reservas substituem aqueles que entram em pane, por chegarem ao fim da vida útil, ou entrarem em manutenção.

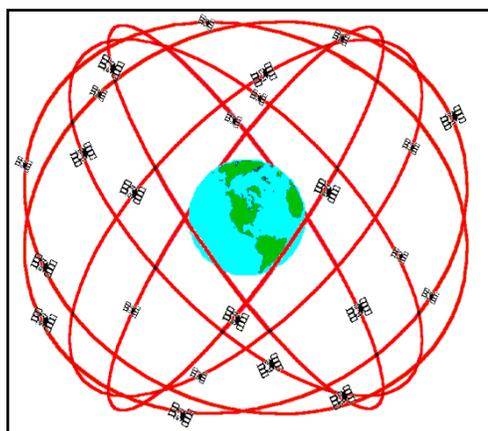


FIGURA 7 – Constelação GPS (Fonte: Adaptado de Matsuoka et al, 2003).

2.12.1 Técnicas de Posicionamento GPS

Segundo MONICO (2000), posicionamento diz respeito à determinação da posição de objetos com relação a um referencial específico. Pode-se então classificar em posicionamento absoluto, quando as coordenadas estão associadas diretamente ao geocentro, e relativo, no caso em que as coordenadas são determinadas com relação a um referencial materializado por um ou mais vértices com coordenadas conhecidas.

- *Posicionamento Absoluto*

Medindo-se simultaneamente as distâncias entre um receptor e três satélites e conhecendo a posição no instante de transmissão de cada satélite, pode-se calcular, em tempo real, a posição do receptor.

Na realidade, a diferença entre os relógios do satélite e do receptor não é conhecida, o que introduz mais uma incógnita no problema, a qual poderá ser determinada a partir das observações de um quarto satélite.

Dessa forma, para se conhecer a posição do receptor, devem-se determinar quatro parâmetros:

- As três coordenadas do receptor em um sistema global definido pelas órbitas dos satélites.
- A diferença entre os relógios do receptor e do satélite.

Medindo-se a pseudodistância simultaneamente para quatro satélites ou mais, é possível determinar, em tempo real, a posição geocêntrica e o erro de sincronização entre os relógios. Dependendo da disponibilidade do código P ou C/A, a precisão da medida será da ordem de 3m a 10m ou de 30m a 100m (ROCHA, 2000).

- Posicionamento Relativo

Os maiores erros em um posicionamento absoluto ocorrem devido à imprecisão das órbitas e devido ao erro de sincronização entre os relógios do satélite e do receptor. Dessa forma, se for conhecido, de antemão, um ponto sobre o sistema global de coordenadas, pode-se determinar, com boa precisão, um outro ponto relativamente ao primeiro.

Modificando-se, portanto, as equações do sistema para que considerem o fato de haver um ponto com coordenadas conhecidas e fixas, a precisão do sistema torna-se submétrica (MONICO, 2000). A Figura 8 ilustra o princípio do posicionamento relativo:

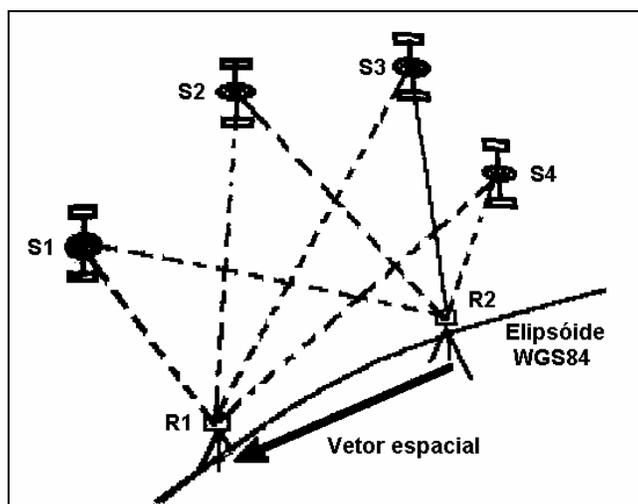


Figura 8 - Posicionamento relativo (Fonte: Adaptado de MONICO, 2000)

- Posicionamento Relativo Estático

O posicionamento Relativo Estático é o mais utilizado em se tratando de posicionamentos geodésicos, onde são rastreados os mesmos satélites por no mínimo 20 minutos. O tempo de ocupação da base depende da exatidão desejada e do comprimento da linha de base, pois quanto mais tempo ficar ocupado, maior será a precisão.

O posicionamento relativo é adequado para levantamentos de linha de base maiores do que 10 km e permite obter precisão da ordem de 0,1 a 1 ppm ou melhor (MONICO, 2000).

- Posicionamento Relativo Estático Rápido

Esse método de posicionamento é similar ao anterior, porém apenas vinte minutos de dados coletados são necessários para a resolução da ambigüidade (número inteiro de ciclos entre o satélite e o receptor no início do período de rastreamento), e determinação da coordenada do ponto levantado.

Um receptor GPS serve como base, coletando dados e estando fixo sobre uma estação de referência (coordenadas conhecidas), enquanto outro receptor faz a coleta de dados dos pontos de interesse, onde permanece estático coletando dados durante os 20 minutos citados, não sendo necessário que o receptor fique ligado de um ponto ao outro.

2.13 Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC)

Para se realizar o posicionamento relativo dentro do território nacional, o IBGE teve a iniciativa de criar a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) a qual é gerenciada pelo próprio IBGE. Esta rede é constituída por vinte estações GPS distribuídas no território brasileiro, as quais rastreiam e coletam dados continuamente 24 horas por dia.

As estações estão localizadas conforme Figura 9:



Figura 9- Localização das estações da RBMC (Fonte: IBGE, 2004)

O conjunto de estações da RBMC proporciona um arcabouço a ser utilizado como referencial para rastreamentos diferenciais e geração de redes secundárias mais densificadas em todo território nacional. Redes municipais também serão incentivadas, com vistas ao estabelecimento de um procedimento que ajude na onerosa tarefa de atualização de bases cadastrais.

2.14 Modelo Digital do Terreno

Um Modelo Digital de Terreno (MDT) é uma representação matemática da distribuição espacial da característica de um fenômeno vinculada a uma superfície real. Os MDTs são imprescindíveis em diversas áreas da Ciência e várias atividades cotidianas (Mapeamento, Geodésia, Hidrologia, Geofísica, Distribuição de água, Saneamento, Planejamento Urbano, etc.).

Os dados de Modelo Digital do Terreno estão representados pelas coordenadas x , y , z . A aquisição destes dados pode ser realizada por levantamentos de campo; digitalização de mapas; medidas fotogramétricas a partir de modelos em estereoscopia; dados altimétricos adquiridos por GPS, RADAR ou satélites; etc. (COSTA et al, 2003)

Entretanto, os MDT não são elaborados diretamente sobre os dados amostrados, mas sim a partir dos modelos gerados no formato de grade regular (malhas retangulares ou quadradas) ou irregular (aleatória, uniformemente distribuída ou concentrada por regiões). Estes formatos simplificam a implementação dos algoritmos de aplicação e os tornam mais rápidos computacionalmente.

A grade retangular ou regular é um modelo digital que aproxima superfícies através de um poliedro de faces retangulares (forma de uma matriz). A geração de grade regular ou retangular é efetuada a partir dos dados amostrados, normalmente por restituidores fotogramétricos. Os valores iniciais a serem determinados são os espaçamentos entre linhas e colunas (resolução em x e y), de forma que possam representar regiões acidentadas e que, ao mesmo tempo, reduzam redundâncias em regiões quase planas.

De acordo com CROSTA et al (2003), na modelagem da superfície por meio de grade irregular triangular, os vértices dos triângulos são geralmente os próprios pontos amostrados da superfície. Isso permite que informações importantes, como as discontinuidades do relevo (cristas, drenagens e vales), sejam consideradas durante a geração da grade, preservando as feições da superfície. Apesar de menos econômica do ponto de vista computacional, proporciona um número de redundâncias bastante reduzido comparado à grade retangular, uma vez que a malha é mais fina em regiões de grandes variações e mais espaçada em regiões quase planas.

As informações altimétricas são calculadas para os demais pontos por interpolação. Interpolação é um procedimento de estimação do valor de um atributo em locais não amostrados a partir de pontos amostrados na mesma área

ou região, convertendo dados de observações pontuais em campos contínuos. Alguns dos interpoladores mais comumente utilizados são o *Método do Vizinho Mais Próximo* (atribuição da cota da amostra mais próxima ao ponto), o *Médias Ponderadas* (estimação de valores desconhecidos a partir dos valores amostrados vizinhos, ponderados pelas distâncias entre eles), e a *Krigagem* (semelhante ao método de Médias Ponderadas, fornece estimativas não tendenciosas e com variâncias mínimas).

2.15 Ortorretificação

Ortorretificar significa eliminar as distorções introduzidas pela variação da atitude do sensor durante a tomada de imagens além de corrigir as distorções referentes à elevação do relevo. (ANDRADE, 1998). De forma análoga, as imagens orbitais também sofrem deformações com relação à inclinação do sensor e a variação da altitude, o procedimento para a eliminação dessas deformações, a fim de tornar a imagem isenta é chamado de ortorretificação, sendo que a imagem ortorretificada passa a ser denominada ortoimagem.

Segundo HATORI (2000) apud PEDRO (2005), a ortoimagem é obtida a partir da ortorretificação, que consiste na correção da imagem devido às diversas distorções, especialmente as causadas pela posição do satélite, pela superfície física da Terra (relevo e curvatura) e pela projeção cartográfica. Para o processo de ortorretificação das imagens é necessário um MDT (Modelo Digital do Terreno), sem o qual não seria possível a correção devido ao relevo, conforme mostra a Figura 10. Alguns softwares hoje em dia são capazes de ortorretificar imagens sem que haja um MDT, através da inserção de parâmetros de correção fornecidos pelo responsável da captura da imagem. Esses parâmetros constituem os RPC's (Rational Polinomial Camera) que é um caso particular do Modelo Funcional Racional (RFM). O RFM relaciona coordenadas tridimensionais do espaço objeto (XYZ) com coordenadas bidimensionais do espaço imagem (linha, coluna), ou vice versa, assim como o modelo físico do sensor. Uma ortoimagem deve conter uma

correção total das feições representadas na ortoimagem, ou seja, qualquer ponto da imagem deve estar corrigido. No entanto, sempre haverá detalhes de objetos que não estão mapeados corretamente, como árvores, carros e objetos pequenos.

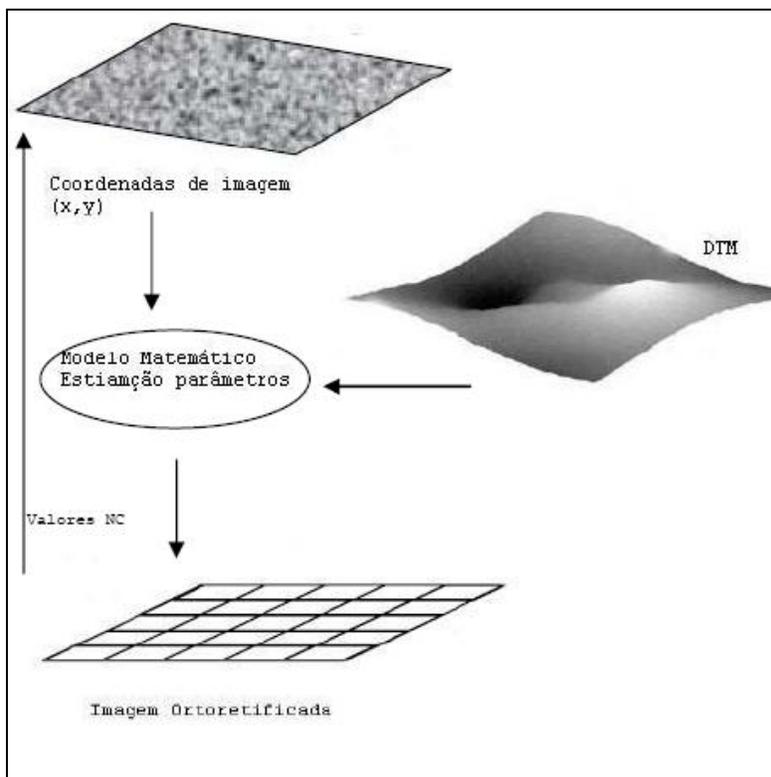


Figura 10 – Princípio de geração de ortoimagens. (Fonte: PEDRO, 2005)

2.16 Controle de Qualidade Geométrica de acordo com o PEC.

A classificação das cartas segundo sua exatidão é obrigatória, de acordo com o Decreto 89817 de 20 de junho de 1984. Este decreto apresenta a obrigatoriedade do registro da classificação referente à exatidão cartográfica no rodapé da carta intitulado como "Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional". Nas suas especificações gerais, definem os principais conceitos e os aspectos da precisão aceitos para trabalhos de cartografia em território nacional, bem como a classificação das cartas quanto à exatidão. Entre estes conceitos o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) e o Erro Padrão (EP) são básicos para o controle de qualidade do produto final.

O Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) e o Erro Padrão (EP) são básicos para o controle de dispersão, onde o PEC é relativo a 90% de probabilidade, sendo diretamente ligado à classificação de uma carta quanto a sua exatidão, e o EP relativo a 60,8% de probabilidade. Para a altimetria, os valores considerados são referentes à equidistância vertical (Eq), ou seja, o intervalo das curvas de nível

A Tabela 5 e 6 mostra os valores estabelecidos no decreto para o PEC e para o EP para as Classes A, B e C, para os casos planimétricos e altimétricos, respectivamente. E na Tabela 6 tem-se a classificação das cartas em relação à precisão altimétrica.

Tabela 5 – Valores referentes a planimetria.

Classe	PEC (mm)	EP (mm)
A	0,5 Ec	0,3 Ec
B	0,8 Ec	0,5 Ec
C	1,0 Ec	0,6 Ec

Tabela 6 – Valores referentes a altimetria.

Classe	PEC (mm)	EP (mm)
A	½ Eq	1/3 Eq
B	3/5 Eq	2/5 Eq
C	3/4 Eq	1/2 Eq

Todo procedimento de análise de exatidão cartográfica é baseada na análise das discrepâncias entre as coordenadas do ponto da carta e as coordenadas de referência (que podem ser coordenadas obtidas tanto de observações realizadas a campo, quanto obtidas através de uma carta de referência).

Deve-se diferenciar exatidão ou acurácia de precisão. A precisão está ligada à dispersão das observações em torno de um valor médio, enquanto que acurácia está relacionada com a proximidade do valor real, ou seja, sem a influência de erros sistemáticos (GALO & CAMARGO, 2004). No caso de mapas, exatidão é a probabilidade da posição de um ponto determinado no mapa a ser verdadeira, isto é a probabilidade da posição tiver da posição determinada através

de meios mais precisos. Um mapa não pode ser considerado completamente exato, pois está suscetível a erros nas diversas fases de sua produção. A exatidão de um mapa pode ser medida por um valor que relaciona as posições encontradas no mapa com as do campo, supostamente verdadeiras (CHAVES, 1998).

Ao usuário cabe certificar a qualidade do produto, o qual pode ser analisado através de testes estatísticos avaliando a precisão e acurácia. Nos testes de acurácia observa-se o erro médio cometido entre o posicionamento das feições e suas posições equivalentes no terreno, obtidas por levantamento GPS. Supre-se com este teste a lacuna deixada pelo produtor, além de dar credibilidade ao produto gerado.

Segundo ANDRADE (1991), um mapeamento só deve ser utilizado como fonte fidedigna de informação quando associado a processos de avaliação da acurácia dos dados que o compõem. Acredita-se que a observância de padrões avaliadores de acurácia seja adequada para o processo de entrada, edição e controle de qualidade, pois certamente dá o real valor da informação cartográfica digital.

Pela análise estatística é possível avaliar documentos cartográficos e classificá-los observando determinado grau de confiança estabelecido a priori. A classificação decorrente se baseia no Padrão de Exatidão Cartográfico, que traduz a composição de acurácia e precisão do documento avaliado e pode gerar as seguintes situações:

- 1 – carta não acurada e precisa
- 2 – carta não acurada e imprecisa
- 3 – carta acurada e imprecisa
- 4 – carta acurada e precisa

As cartas com as características apresentadas no item 2 e 3 deverão ser desclassificadas, pois no caso 2, a carta que não possui uma acurácia revela falta de coerência nas posições quando comparadas aos valores de campo considerados verdadeiros, enquanto a carta imprecisa, revela falta de coerência interna entre as feições representadas, e conforme ANDRADE (1991),

normalmente admite-se que a imprecisão conduz a falta de acurácia, ainda que a estimativa desta esteja dentro do erro máximo admissível. Assim, uma carta acurada e imprecisa será desclassificada.

As cartas que se enquadram nos itens 1 e 4 devem ser classificadas, pois no caso 1, apesar da falta de acurácia, a carta apresenta precisão quando considerada a coerência entre as feições representadas. Desta forma, esta carta seria classificada no aspecto precisão, porém valendo-se de cautela no seu uso, pois suas feições não apresentam coerência com a realidade física. A classificação ideal é aquela retratada no item 4 (carta acurada e precisa), pois apresenta posições coerentes tanto entre si quanto com a realidade física.

As situações admissíveis para a classificação seriam, portanto:

Carta acurada e precisa;

Carta não acurada e precisa;

Para a classificação geral, ou seja, análise da qualidade das cartas acuradas e precisas, adota-se o critério de considerar conjuntamente acurácia e precisão, prevalecendo aquela que possuir ordem inferior, evitando assim classificar uma carta inadequadamente pela introdução de incertezas de uma classe inferior, como mostra a Tabela 7. As cartas que não são acuradas e precisas, são classificadas de acordo com a precisão, mesmo o porque não existe classificação em acurácia.

Tabela 7 – Classificação geral, considerando classes de acurácia e precisão

Precisão	Acurácia	A	B	C
	A	Classe A	Classe B	Classe C
B	Classe B	Classe B	Classe C	
C	Classe C	Classe C	Classe C	

CAPÍTULO III - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização Geográfica da Área de Estudo

A área de estudo é a cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, possui uma área total de 496,8 km², está localizado na região leste do estado, com 30 km de comprimento no sentido norte-sul (latitude) e 15 km de largura no sentido leste-oeste (longitude). Possui uma população de aproximadamente 1428,696 habitantes, com densidade populacional de 2,875 hab / km², de acordo com o IBGE (2006). Para o processo de atualização cartográfica foi escolhida como uma área teste, o centro da cidade e alguns bairros próximos, por se tratar de um local de difícil atualização devido as rápidas mudanças ocorridas em um curto período.

3.2 Informações Cartográficas sobre o Rio Grande do Sul

A capital do Rio Grande do Sul, bem como a maioria dos municípios da Região metropolitana de Porto Alegre (RMPA), possui seus mapas desenvolvidos na Projeção Gauss-Kruguer. Trata-se de um sistema dividido em 120 zonas de 3° de amplitude e que utiliza a projeção cilíndrica transversa conforme, na qual um cilindro é tangente em relação a superfície da Terra ao longo de um meridiano, essa projeção tem como constantes os valores de N = 5000000m (no equador) e E = 200000m (no meridiano central), possui ainda um coeficiente de redução linear igual a 1. Na região de estudo (Porto Alegre) o meridiano central é o -51°.

O Sistema Geodésico do Rio Grande do Sul é o da Comissão da Carta Geral do Brasil (CCGB), cuja origem se deu através dos trabalhos de mapeamento executados pela 1ª Divisão de Levantamentos do Exército, são materializados através do Datum vertical Marégrafo de Torres, e Datum horizontal o vértice do Observatório da CCGB, e tem como elipsóide de referência o *Hayford* de 1924, cujos valores de semi-eixo maior é 6378388m e semi-eixo menor é de 6356911,946 m, com achatamento de 1/297. São mapas que variam desde a

escala 1/15000 até 1/1000. Estas cartas foram geradas nas décadas de 70 e início dos anos 80. (CELESTINO et al, 2005)

3.3 Base Cartográfica Digital

A base cartográfica digital foi gerada a partir de um documento cartográfico referente a uma escala 1:1.000 do ano de 1982, cujo Sistema Geodésico é da Comissão da Carta Geral do Brasil e a Projeção Cartográfica é Gauss Krüger. Esta base foi cedida para este trabalho em formato “dxf” compatível no software AutoCad e fornecida pela Secretaria de Planejamento Urbano de Porto Alegre.

3.4 Imagem Quickbird

A imagem Quickbird foi cedida pela empresa Geotec, situada em Porto Alegre. Esta imagem refere-se ao dia 13/03/2004, cobre uma área de aproximadamente 14 km², pertence ao formato Padrão (Standard) e já estava georreferenciada e ortorretificada. Segundo a empresa Geotec, a imagem foi fusionada, para potencializar a alta resolução espacial da banda pancromática e a resolução espectral das bandas multiespectrais. A Tabela 8, mostra os dados da imagem Quickbird fornecidos pela empresa Geotec e a Figura 11 refere-se a imagem Quickbird.

Tabela 8 – Especificações técnicas da imagem Quickbird. (Fonte: Geotec, 2005)

Zona	22
Elipsóide	SAD 69
Coordenadas (Canto superior esquerdo)	E = 476522.6 N = 6678870.6
Coordenadas (Canto inferior direito)	E = 478811.0 N = 6672769.8
Tamanho do Pixel	X = 0.60 Y = 0.60



Figura 11 – Imagem Quickbird. (Fonte: Geotec, 2005)

3.5 Equipamentos Utilizados

Para a elaboração desta dissertação foram usados os seguintes softwares:

- AutoCadMap – Manipulação da base cartográfica e vetorização da imagem orbital.
- Promark II e Astech Solutions 2.60 – Receptor GPS e software de processamento de dados GPS.

3.5.1 AutoCad Map

AutoCad Map é um programa de auxílio a projetos de engenharia, arquitetura e cartografia desenvolvida pela Autodesk. É um programa gráfico e preciso para se trabalhar com estruturas vetoriais que necessitam de um sistema de coordenadas de referência, atribuídos ao projeto, para melhor manipulação, controle e transporte de dados.

Neste software foi manipulada a base cartográfica, cedida pela Secretária de Planejamento de Porto Alegre. A base cartográfica estava no Sistema Geodésico Comissão da Carta Geral do Brasil, e na Projeção Gauss Krüger, na escala 1:1.000, sendo convertida para o Sistema Geodésico SAD 69 – Brazil e Projeção Transversor de Mercator, neste mesmo software. O procedimento da vetorização da imagem Quickbird também foi realizado no software AutoCadMap.

3.5.2 Promark II e Astech Solutions 2.60

Para a coleta dos pontos de controle utilizou-se o receptor GPS com Portadora L1 marca ASTECH modelo Promark 2 conforme mostra a Figura 12, e foi utilizada como base para o processamento a estação POAL da RBMC.

Este receptor GPS opera com a seguinte precisão no modelo Estático: horizontal – 5mm+/- 1 ppm e vertical: 10mm +/- 2ppm, acompanhado do programa dos processamento de dados ASTECH SOLUTIONS 2.60. Os pontos de controle foram coletados através do Método Relativo-Estático com um receptor GPS

durante 25 minutos em função dos obstáculos e do PDOP, que de acordo com MONICO (2000), pode ser interpretado como o inverso do volume de um tetraedro formado pelas posições do usuário e dos 4 satélites, quanto menor o valor do PDOP, melhor será a configuração dos satélites para realizar o posicionamento e conseqüentemente maior será a precisão do ponto coletado. foi utilizado como base para o processamento a estação POAL da RBMC.

Estes pontos foram processados em WGS-84 com uma acurácia horizontal de 0,08m +1ppm e vertical de 0,16 +2 ppm.



Figura 12 – Receptor GPS Promark II

CAPÍTULO IV- METODOLOGIA

Neste Capítulo, tem-se os passos utilizados para a execução deste trabalho, de acordo com o Fluxograma abaixo:

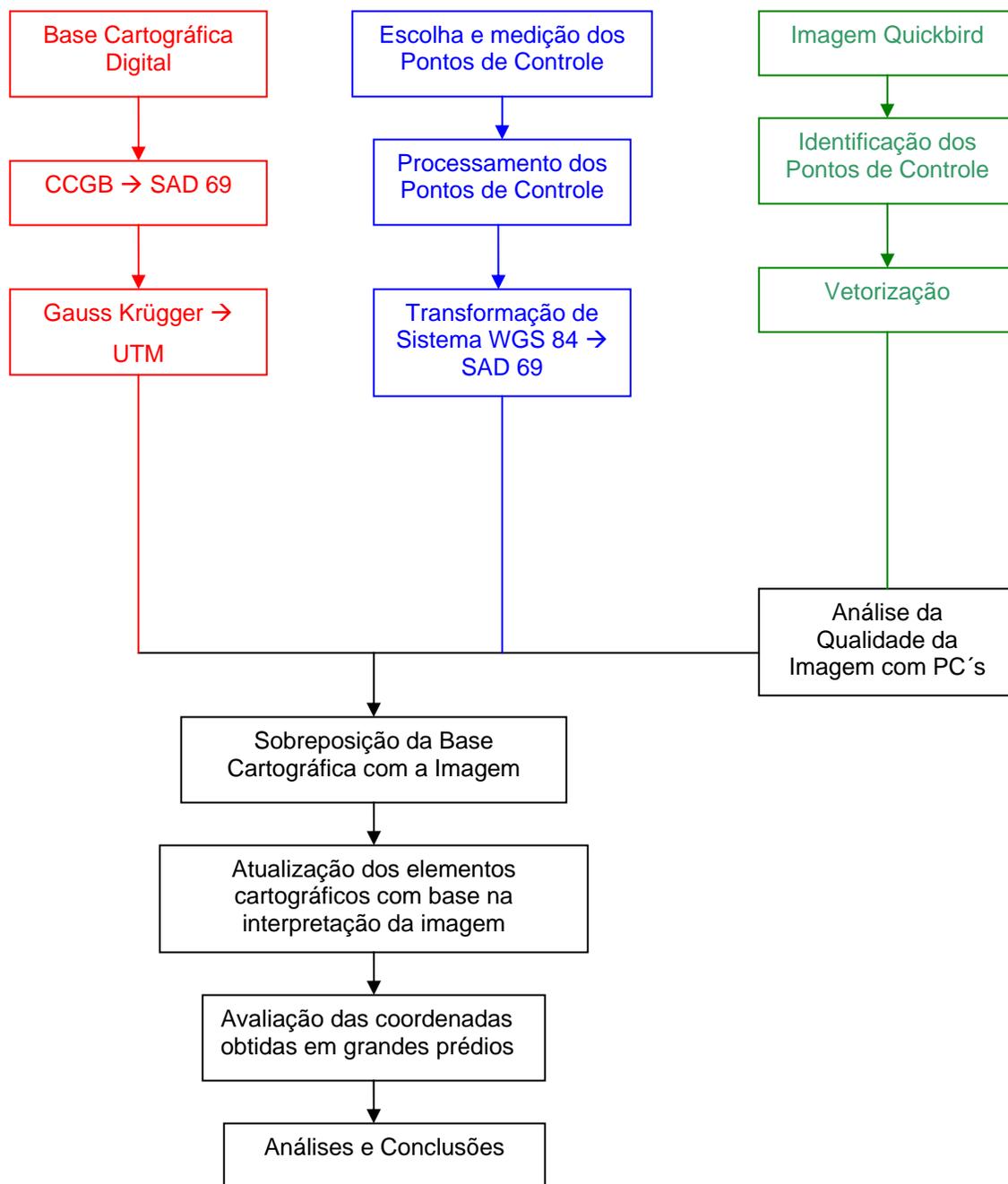


Figura 14 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos.

4.1 Manipulação da Base Cartográfica Digital

Utilizou-se como uma base cartográfica, um arquivo digital cedido pela Prefeitura de Porto Alegre. Esta base consiste em um arquivo vetorial manipulado pelo software AutoCad Map.

A base cartográfica digital é referente ao ano de 1982, seu Sistema Geodésico é da Comissão da Carta Geral do Brasil e a Projeção Cartográfica é Gauss Krüger. Para a compatibilidade de dados da imagem Quickbird, a base cartográfica foi transformada para o Sistema Geodésico SAD 69 (*South American Datum - 69*) e a projeção foi transformada para UTM. Mesmo compatibilizando as informações da base cartográfica com a imagem orbital, houve uma diferença posicional na sobreposição. Esta diferença pode estar no erro posicional na própria base cartográfica, já que utilizou-se os pontos de controle obtidos por GPS para esta averiguação e estes coincidiam com os da imagem. Todos esses procedimentos foram efetuados no próprio software AutoCad Map.

4.2 Quantidade de Pontos de Controle

De acordo com a Fórmula de PEREIRA (1978) apresentada no item 2.11, para a verificação da quantidade de pontos de controle para a geometria da imagem, chegou-se a um valor de 20 pontos. Também de acordo com o autor, PATROCINIO (2003), especifica que essa mesma quantidade mostrou-se suficiente para a correção geométrica, não apresentando muita diferença na média dos resíduos. As especificações para o uso desta fórmula segue abaixo:

$$n = \frac{Z^2 * \gamma^2 * N}{(N-1) * (\epsilon_r)^2 + Z^2 * \gamma^2}$$

onde:

N = 15.000.000

Z = 1,6994 (90%)

$$\gamma = \frac{\sigma}{\mu} = 0,33$$

$$\varepsilon_r = 12,5\%$$

4.2.1 Levantamento de Pontos de Controle

Na imagem QuickBird foram coletados 20 pontos de controle obtidos pelo receptor GPS, a fim de determinar um controle geométrico testando a sua confiabilidade de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC).

Os pontos foram distribuídos de maneira regular e uniforme abrangendo toda a área de estudo. Na escolha destes pontos, procurou-se áreas que fossem de fácil visualização na imagem orbital que não estivessem muito próximos a prédios altos ou árvores, porém em se tratando no centro da cidade, esta tarefa tornou-se difícil, ocasionando algumas obstruções do sinal do receptor GPS.

A coleta dos pontos de controle por GPS foi realizada em 4 dias. No dia 1/12/05 utilizou-se o ponto Gasômetro como base de referência posicionando um receptor GPS neste local, e adotando como método o posicionamento relativo, permanecendo 20 minutos em cada local de coleta. Nos outros dias de levantamento, com apenas um receptor GPS, os pontos coletados foram através do método de posicionamento absoluto permanecendo 30 minutos em cada ponto, utilizando como referência a estação POAL da RBMC, situada no Campus da UFRGS, o processamento de todos dos dados coletados em campo encontram-se em Anexo III. As coordenadas que estão no Sistema WGS 84 foram transformadas pelo Sistema SAD 69, para que seja compatível com a imagem. Esta conversão foi realizada em um programa feito pelo estudante de Engenharia Cartográfica da UFRGS, Leonardo Briz em seu projeto de Conclusão de Curso em 2005. A Figura 15 refere-se à distribuição dos pontos de controle na imagem, e a Tabela 9 caracteriza as localizações de cada um.

Tabela 9– Localização dos pontos de controle.

Ponto	Descrição
1	Gasômetro
2	Av. Mauá / Gen. Caldas
3	Mercado Público
4	Teatro São Pedro
5	Praça Anne Dias
6	Washington Luis / Vasco Alves
7	Praça Açorianos
8	Rótula Beira Rio
9	Tribunal Judiciário
10	Nacional
11	Borges de Medeiros / Ipiranga
12	Getúlio Vargas / Ipiranga
13	Pça Cecília Meireles
14	José de Alencar / Grão Pará
15	Cerro Largo / Sinke Silvério
16	Cerro Largo / Corrêa Lima
17	Av. Padre Cacique (Em frente ao Gigantinho)
18	Av. Loureiro da Silva / Lima e Silva
19	Botafogo / Múcio Teixeira
20	João Manoel / Riachuelo



Figura 15 – Distribuição dos Pontos de Controle.

4.3 Vetorização da Imagem Quickbird

A etapa seguinte foi a vetorização da imagem Quickbird, utilizando-se para esse processo o software AutoCad Map, e criou-se os seguintes layers:

- Edificações
- Quadras
- Ruas
- Corpos d' água
- Texto
- Limite

O processo de vetorização das feições da imagem foi dificultado devido a alguns fatores como:

- Árvores: Porto Alegre é uma das capitais brasileiras mais arborizadas, e algumas árvores possuem grande porte, o que dificulta a visualização das edificações que estavam próximas e também nas delimitações de quadras.



Figura 16 – Presença de árvores na imagem Quickbird na Praça da Alfândega.

- Sombras: Mesmo a imagem estando ortorretificada, os grandes edifícios apresentam uma inclinação, o suficiente para projetarem sombras e assim omitindo as feições existentes.

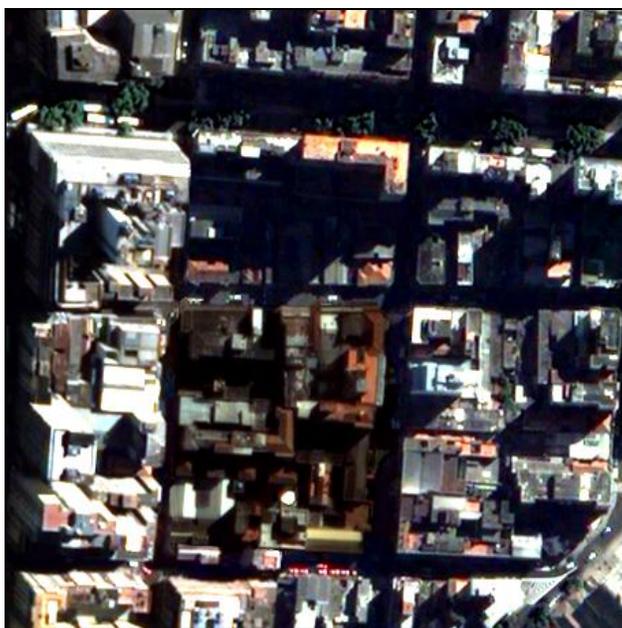


Figura 17 - Presença de sombras no centro da cidade.

- Reflectância de alvos: O material de algumas coberturas das edificações apresentou uma pequena confusão na hora da vetorização, devido a sua reflectância. Isso porque as imagens destes sensores possuem baixa resolução espectral, limitando-se apenas 3 bandas no visível (azul, verde e vermelho) e uma no infravermelho próximo. Herold et al (2002) apud PINHO & KUX (2004) elaborou assinaturas espectrais de alguns alvos urbanos a partir de dados de sensores hiperespectral AVIRIS e demonstrou que existem importantes bandas de diferenciação em comprimentos de ondas do infravermelho próximos e médio a partir de 1200nm. A única banda do infra-vermelho próximo do Quickbird localiza-se entre 760 e 900 nm.



Figura 18 – Exemplo de alta reflectância dos materiais que compõe o telhado das edificações

- Inclinação das edificações: Mesmo a imagem estando ortorretificada, ela apresentava grandes inclinações em algumas partes da cena, isso dificultou o que seria vetorizado: a base ou o topo das edificações.



Figura 19 – Inclinação dos edifícios devido ao deslocamento da órbita do satélite.

4.4 Sobreposição da Base Cartográfica com a Imagem Vetorizada

Terminada a vetorização da imagem Quickbird, este arquivo foi sobreposto juntamente com a base cartográfica, para a visualização das alterações ocorridas nestes últimos 20 anos. O que pode ser observado é que no centro da cidade, poucos prédios surgiram. Escolas, bombeiros, órgãos do governo, quartéis gerais, praças e igrejas, não sofreram nenhuma modificação neste período. As maiores alterações ocorreram nos bairros Praia de Belas e Menino Deus, como a construção do prédio Tribunal Judiciário na rua Borges de Medeiros, que antes era situado na rua General Duque de Caxias e no shopping Praia de Belas. Neste mesmo bairro, muitos terrenos que antes estavam vazios, atualmente viraram estacionamentos.



Figura 20 – Sobreposição da vetorização da imagem com a base cartográfica.

4.5 Avaliação da Qualidade Geométrica em Edifícios

Para a avaliação da qualidade geométrica de grandes edifícios na imagem Quickbird, foram coletados 8 pontos por GPS em 3 prédios de Porto Alegre. No primeiro prédio foram coletados 4 pontos no terraço do Gasômetro (1,2,3,4), cuja altura é de 25 m, e o ponto 5 corresponde a base da chaminé da Usina, conforme mostra na Figura 21. Em seguida coletou-se mais 2 pontos no

edifício da FEPAM (Fundação Estadual de Proteção ao Meio Ambiente) (FEP1 e FEP2) que possui aproximadamente 60 m, equivalentes aos pontos 6 e 7 na Figura 22, e por último mais dois pontos no edifício da Receita Federal (6 e 7), que possui 80 m de altura, de acordo com a Figura 23, com os pontos 8 e 9. Com isso pretende-se avaliar a discrepância dos pontos coletados por GPS em relação aos pontos da imagem, o qual está vetorizado, e da base cartográfica digital. O ponto 5, situado na base da chaminé da Usina do Gasômetro, foi coletado a fim de verificar a sua verdadeira posição na imagem, porque através da sombra projetada pela chaminé, percebe-se que há um grande deslocamento, o que conseqüentemente acarreta uma deterioração na precisão posicional. A localização destes prédios estão na Figura 21 e Figura 22. As coordenadas obtidas estavam no Sistema Geodésico WGS 84, mas foram transformados para SAD 69, para a compatibilização com o sistema adotado pela imagem.



Figura 21 – Usina do Gasômetro.



Figura 22 - Topos dos edifícios da FEPAM e Receita Federal Respectivamente.

CAPÍTULO IV – RESULTADOS FINAIS

5. DADOS OBTIDOS

As coordenadas (E,N) dos pontos de controle obtidos pelo receptor GPS são descritas na Tabela 10, no Sistema Geodésico SAD 69 e Projeção UTM, e na Tabela 11 tem-se as coordenadas da imagem Quickbird, que estão no mesmo Sistema Geodésico e Projeção dos pontos de controle.

Tabela 10– Coordenadas dos pontos de controle obtidos por GPS.

Ponto	Descrição	E _{GPS} (m)	N _{GPS} (m)
1	Gasômetro	476761.0774	6677461.996
2	Av. Mauá / Gen. Caldas	477598.08	6678091.019
3	Mercado Público	478063.123	6678260.171
4	Teatro São Pedro	477816.821	6677640.07
5	Praça Dom Feliciano	478560.296	6677887.561
6	Washington Luis / Vasco Alves	477164.8139	6677210.859
7	Praça Açorianos	478029.85	6677054.526
8	Rótula Beira Rio	477532.8775	6676573.681
9	Tribunal Judiciário	478003.3279	6676481.502
10	Nacional	478528.0239	6676393.585
11	Borges de Medeiros / Ipiranga	477954.3631	6675981.004
12	Getúlio Vargas / José de Alencar	478520.0575	6674551.772
13	Praça Itália	478036.2181	6675558.859
14	José de Alencar / Grão Pará	478044.3728	6674623.112
15	Cerro Largo / Sinke Silvério	478038.1111	6674335.827
16	Cerro Largo / Corrêa Lima	478507.09855	6674015.92092
17	Av. Padre Cacique (Em fte ao Gigantinho)	477619.71702	6674093.72014
18	Av Loureiro da Silva / Lima e Silva	478400.0868	6677263.201
19	Botafogo / Múcio Teixeira	478374.3904	6675223.764
20	João Manoel / Riachuelo	477579.2278	6677648.523

Tabela 11 – Coordenadas da Imagens Quickbird.

Ponto	Descrição	E _{imagem} (m)	N _{imagem} (m)
1	Gasômetro	476763.5	6677460
2	Av. Mauá / Gen. Caldas	477596.8815	6678089.966
3	Mercado Público	478063.4475	6678259.866
4	Teatro São Pedro	477815.714	6677639.018
5	Praça Dom Feliciano	478559.3924	6677888.8
6	Washington Luis / Vasco Alves	477152.3041	6677211.124
7	Praça Açorianos	478029.7078	6677053.689
8	Rótula Beira Rio	477533.1351	6676572.664

9	Tribunal Judiciário	478004.1675	6676482.725
10	Nacional	478526.2096	6676394.356
11	Borges de Medeiros / Ipiranga	477954.5126	6675980.502
12	Getúlio Vargas / José de Alencar	478518.8646	6674550.567
13	Praça Itália	478036.0942	6675559.274
14	José de Alencar / Grão Pará	478043.8435	6674623.7706
15	Cerro Largo / Sinke Silvério	478038.174	6674094.356
16	Cerro Largo / Corrêa Lima	478506.1258	6674016.112
17	Av. Padre Cacique (Em fte ao Gigantinho)	477619.034	6674094.438
18	Av Loureiro da Silva / Lima e Silva	478401.2684	6677263.201
19	Botafogo / Múcio Teixeira	478375.7794	6675223.301
20	João Manoel / Riachuelo	477579.0833	6677647.368

Para a análise de dados em relação a qualidade posicional da imagem orbital, aplicou-se dois testes estatísticos: a distribuição *t de Student* para a apuração da acurácia e a distribuição *Qui-Quadrado* para a verificação da precisão, de acordo com as normas do PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica). Esses testes são baseados nas discrepâncias de coordenadas obtidas por GPS em relação às coordenadas da imagem.

Tabela 12 – Diferenças das coordenadas da imagem e dos pontos de controle obtidos por GPS.

Ponto	Descrição	d(m)	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$
1	Gasômetro	3.1389	2.4226	-1.996
2	Av. Mauá / Gen. Caldas	1.5928	-1.19846	-1.0535
3	Mercado Público	0.4456	0.3245	-0.3054
4	Teatro São Pedro	2.422	2.4753	0.8645
5	Praça Dom Feliciano	1.5331	-0.9036	1.2385
6	Washington Luis / Vasco Alves	0.5473	-0.4776	0.2674
7	Praça Açorianos	0.8491	-0.1422	-0.8371
8	Rótula Beira Rio	1.049	0.2576	-1.0169
9	Tribunal Judiciário	1.4833	0.8396	1.2228
10	Nacional	1.9713	-1.8143	0.7709
11	Borges de Medeiros / Ipiranga	0.5237	0.1495	-0.5019
12	Getúlio Vargas / José de Alencar	1.6958	-1.1929	-1.2053
13	Praça Itália	0.4331	-0.1239	0.415
14	José de Alencar / Grão Pará	0.8271	0.5304	-0.6343
15	Cerro Largo / Sinke Silvério	0.5439	0.0629	0.5403
16	Cerro Largo / Corrêa Lima	0.9913	0.9727	-0.1913
17	Av. Padre Cacique (Em fte ao Gigantinho)	0.9885	-0.683	0.7176
18	Av Loureiro da Silva / Lima e Silva	1.1815	-1.1814	0.0001
19	Botafogo / Múcio Teixeira	1.4639	-1.389	0.4625
20	João Manoel / Riachuelo	0.891	-0.1719	-0.8743

5.1 valiação Geométrica em Grandes Edifícios

A Tabela 13 refere-se as coordenadas obtidas por GPS em alguns edifícios de Porto Alegre e também as coordenadas correspondentes a estes mesmos pontos na imagem, ambas estão no Sistema SAD 69. Os pontos GAS1, GAS2, GAS3 e GAS4 são os pontos do terraço do Gasômetro, GAS5 é o ponto da chaminé da Usina. FEP1 e FEP2 são os pontos do terraço da FEPAM e por último os pontos do terraço do edifício da Receita Federal, RF1 e RF2.

Tabela 13 – Coordenadas dos edifícios obtidos em campo e na imagem

Local	E _{GPS} (m)	N _{GPS} (m)	E _{imagem} (m)	N _{imagem} (m)
GAS1	476761.0774	6677461.996	476763.2884	6677459.971
GAS2	476782.5963	6677471.703	476737.892	6677422.864
GAS3	4767954.4	6677437.03	476748.8205	6677387.574
GAS4	476771.0333	6677427.927	476727.1575	6677380.686
GAS5	476809.5763	6677425.319	476779.4606	6677385.866
FEP1	478559.9041	6678527.791	478510.9405	6678488.337
FEP2	478557.6891	6678522.508	478506.919	6678476.283
RF1	477270.7195	6677009.9	477236.8115	6676949.937
RF2	477270.2465	6677001.77	477236.8115	6676938.437

A próxima Tabela 14 descreve a discrepância das coordenadas GPS com as coordenadas da imagem dos edifícios.

Tabela 14 – Discrepância das coordenadas GPS e da imagem

Local	d(m)	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$
GAS1	2.9982	2.2106	-2.0254
GAS2	6.551	4.484	-4.776
GAS3	5.9903	2.6085	-5.3926
GAS4	6.1907	5.3125	-3.1784
GAS5	19.6218	19.0726	4.61
FEP1	2.2589	0.2255	2.2476
FEP2	2.3342	-1.581	1.7173
RF1	22.0523	15.2805	-15.9
RF2	24.889	15.7535	-19.27

CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES

Nesta dissertação foram apresentados resultados referentes às pesquisas realizadas, no propósito de averiguar a utilização de imagens orbitais para o processo de atualização cartográfica urbana. Estes resultados levaram as seguintes conclusões:

1) A imagem orbital apresentou uma geometria satisfatória de acordo com o PEC, para o processo de atualização cartográfica

2) Nas áreas de maior densidade ocupacional os resultados obtidos apresentaram uma limitação do uso desta metodologia, tendo em vista os deslocamentos apresentados pelos prédios devido aos erros da órbita e plataforma do satélite.

3) Os resultados finais apresentam uma correlação entre o a altura dos edifícios e suas discrepâncias em relação aos pontos coletados por GPS e os da imagem, chegando a conclusão de quanto mais alto é o prédio, maior é a sua discrepância.

4) As limitações quanto ao uso de imagens orbitais contribuem principalmente pela omissão de feições encobertas pelas sombras projetadas através das grandes edificações, cuja inclinação destes prédios são provocados por referentes à órbita e plataforma do satélite.

5) Dificuldades de discriminação entre os alvos causados pela reflectância dos materiais de algumas coberturas das edificações, devido a baixa resolução espectral do sensor, limitando-se a apenas 3 bandas no visível (azul, verde e vermelho) e uma no infravermelho próximo.

6) Dificuldade no processo de vetorização em regiões de boa arborização, pois encobre feições necessárias a cartografia.

7) Através dos resultados obtidos pelas discrepâncias das coordenadas das imagens orbitais e das coordenadas obtidas por GPS, mostraram que a escala

ideal para o processo de atualização cartográfica é de 1:5.000, sendo classificada pelo PEC em Classe A.

6.2 RECOMENDAÇÕES

1) Para uma melhor análise recomenda-se o uso de maior número de pontos coletados por GPS, nos edifícios, principalmente naqueles em que se apresentam como novas feições, comparando assim com as coordenadas da imagem.

2) Se possível utilizar uma imagem que não fosse ortorretificada, e que o próprio usuário fizesse este processo através de uma MDT confiável e com os RPC's fornecidos pela empresa, permitindo ao usuário o conhecimento dos erros ocorridos durante tal desenvolvimento

Esta dissertação de mestrado foi um estudo preliminar das inúmeras aplicações de imagens orbitais, e com o avanço de novas tecnologias, esse campo tende a se expandir cada vez mais. Com a possibilidade de lançamento de mais satélites com melhor resolução espacial, isso irá favorecer ainda mais a área de aplicação cartográfica principalmente para fins urbanos onde o poder de discriminação de alvos é essencial devido a sua grande variedade. Porém vale ressaltar que o avanço tecnológico só irá contribuir positivamente quando usuários capacitados saibam lidar com estes produtos, não gerando apenas trabalhos rotineiros, sem o conhecimento de sua qualidade final.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, R. R. **Utilização de Imagens Orbitais e Áreas no Estudo da Ocupação e Planejamento Urbano**, Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Geoprocessamento), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002, 45p.

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. Curitiba, 1998. 245p.

BERNSTEIN, R. **Image Geomtry and Retification**. In R. N. Colwell (ED) Manual of Remote Sensing, American Society of Photogrametry, Virginia. 1983. p873-922.

BRANDÃO R. A. A. **Montagem e Análise de Base de Dados para Estudo de Distribuição de Escolas na Cidade de Patrocínio**. VI Curso de Especialização em Geoprocessamento, Departamento de Cartografia – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte – 2003. 64p.

CELESTINO, V. S., OLIVEIRA R. F., SILVA, R. R., **Geração de Base Cartográfica e Implantação de Rede Geodésica Local para Gerenciamento do Campus Universitário**, Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. 110p.

CHAVES, E. E. D. **Análise da Qualidade de Dados Georreferenciados Utilizando a Tecnologia GPS**. Dissertação de Mestrado, USP/Campus de São Carlos. São Carlos, 1988. 179p.

CROSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas – UNICAMP, 170p. 1992.

D'ALGE, J. **Atualização Cartográfica por Imagens de Satélite**. Instituto Nacional de Pesquisas Nacionais – INPE. São José do Campo – SP, 1997.

DIGITAL GLOBE, HOME PAGE: www.digitalglobe.com , acessado em 15/02/2006.

ENGESAT HOME PAGE: www.engesat.com.br , acessado em 20/01/2005.

GALO, M; CAMARGO, P. O. **Utilização de GPS no Controle de Qualidade de Cartas** In: COBRAC – Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, Anais. Florianópolis, 2004.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas**. Curitiba, UFPR, 1994. 319 p.

IBGE, **Noções Básicas de Cartografia**, Rio de Janeiro, 75 p, 1999.

INTERSAT HOME PAGE: www.intersat.com.br , acessado em 20/01/2005.

ISHIKAWA, M. I. **Potencialidade de Uso de Imagens IKONOS/GEO para Aplicações em Áreas Urbanas** Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2001. 82 p.

IODETA , I. V. **Concepção de Bases Cartográficas para Projetos de Engenharia**. São Paulo, 2001. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

IWAI, O. K. **Mapeamento do Uso do Solo do Município de São Bernado do Campo, Através de Imagens de Satélite** Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

MATSUOKA C.T., FAUSTINO R.C., REDIVO.I.A.C., **Monitoramento de Barragem da Usina Hidrelétrica de Três Irmãos Utilizando a Técnica GPS** Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Cartográfica – Universidade Estadual Paulista, UNESP, 2003. 121p.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR – GPS. Descrição, Fundamentos e Aplicações.** Fundação da UNESP – São Paulo, 2000. 98p

PATROCÍNIO, R. B. **Análise Quantitativa de Pontos de Controle para Correção Geométrica de Imagens Orbitais** Dissertação de Mestrado (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

PEDRO, P.C. **Ortorretificação de Imagens de Alta Resolução Ikonos e QuickBird Utilizando o Modelo APM (Affine Projection Model)** Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Programa de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curitiba, 2005.

PEREIRA, R. A. **A Estatística e suas Aplicações.** Editora Grafosul. Porto Alegre, RS. 1998. 70p

PINHO, C. M. D., KUX H. J. H. **Dados do QuickBird Para Subsidiar o Planejamento Urbano: Uma Proposta Metodológica, Município de São José**

dos Campos, SP, Brasil. Anais XI Simpósio Latinoamericano sobre Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial, Santiago, Chile, 22-26 novembro 2004, SELPER.

PINHEIRO, E. S. **Avaliação de Imagem Quickbird na Análise Geográfica de um Setor da Mata Atlântica do Rio Grande do Sul.** Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, 2003. 185p.

RICHARDS, J. A. **Remote Sensing Digital Image Analys – An Introductioun.** The Australian National University, Australia. 1999. 355p

ROCHA, R.S., **Exatidão cartográfica para as cartas digitais urbanas.** Tese de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção de Sistemas, Florianópolis, 2002.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO URBANO DE PORTO ALEGRE, HOME PAGE: www2.portoalegre.rs.gov.br/spm, acessado em 28/06/2006.

SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. **Proposta para o Plano Cartográfico do Estado do Rio Grande do Sul,** Porto Alegre, 2002.

SPACE IMAGE, HOME PAGE: www.spaceimage.com, acessado em 12/01/2005.

