MAPEAMENTO DIGITAL DA CIDADE DO RECIFE - PE EM SIRGAS 2000

MIRELE VIEGAS DA SILVA
TARCÍSIO DA FONTE NEVES

Prefeitura do Recife - SCDUO
Diretoria de Informações – DI
Sistemas de Informações - Geoprocessamento
Av. Cais do Apolo, 925, 12º andar - Bairro do Recife, Recife / PE - CEP: 50030-903
{mireleviegas, tarcisio}@recife.pe.gov.br

RESUMO - Em 2006, a prefeitura de Recife iniciou os trabalhos de mapeamento digital da cidade com enfoque na modernização do seu sistema cartográfico. A construção de uma nova base cartográfica fez parte de um projeto maior, trata-se do projeto de modernização administrativa fiscal da Prefeitura do Recife, financiado com recursos do Programa Nacional de Apoio à Gestão Administrativa e Fiscal dos municípios brasileiros – PNAFM.Através de uma licitação realizada no mesmo período, a ENGEFOTO foi a empresa vencedora responsável pela execução do projeto. O processo durou aproximadamente 05 meses, desde o edital até a assinatura do contrato.O projeto baseia-se nas mais avançadas técnicas de coleta e tratamento de informações (aerofotogrametria, sistemas GPS, nivelamento geométrico, gerenciadores de bancos de dados relacionais, softwares para CAD, softwares para sistemas de informações geográficas) na execução, considerando custos, prazos e precisão compatível com o PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica) Classe A. Em dois anos o mapeamento estava concluído. Atualmente parte dos produtos pode ser visualizada na web através da página www.recife.pe.gov.br/ESIG/. Todos os dados geoespaciais estão georreferenciados ao Sistema Geodésico Brasileiro SIRGAS2000.

ABSTRACT – In 2006, the city of Recife began work on digital mapping of the city with focus on upgrading its mapping system. The construction of a new base map was part of a larger project, it is the tax administration modernization project of the Municipality of Recife, funded by the National Program Support for Tax Administration and the municipalities - PNAFM. Through an auction held in the same period, the winner ENGEFOTO was responsible for implementing the project. The process took approximately 06 months from the announcement until the signing of the contract. The project is based on the most advanced techniques of collecting and processing information (aerial photography, GPS, leveling, and managers of relational databases, software for CAD, software for geographic information systems) to run, considering cost, time and accuracy compatible with the SGP (Cartographic accuracy Standard) Class A. In two years the mapping was completed. Currently some of the products can be viewed via the web page www.recife.pe.gov.br/ESIG/. All geospatial data are georeferenced to the Brazilian Geodetic System SIRGAS2000

1 INTRODUÇÃO

Um dos segmentos que mais cresce em Cartografia no Brasil é a chamada Cartografia Municipal, uma vez que os Prefeitos têm conhecimento de que sem uma boa Cartografia Cadastral torna-se impossível o projeto e a implantação de políticas públicas, visando o bem-estar da população, bem como a arrecadação de impostos urbanos (IPTU) e rurais, de onde procede boa parte dos recursos para suas respectivas administrações. O mapeamento municipal é importantíssimo na execução de planos diretores das cidades, onde residem mais de 80% da população brasileira (SILVA, 2010).

Durante anos, a prefeitura do Recife deparou-se com dificuldades para obtenção de informações precisas sobre o município para realização de um planejamento urbano confiável. Até a conclusão do novo mapeamento digital, a prefeitura trabalhou com um mapeamento da década de 80 (UNIBASE), sem atualizações e que já não correspondia com a realidade do município.

A prefeitura do Recife através de licitação pública contratou em 2007 a ENGEFOTO, empresa de Curitiba para construir uma base digital de dados contínua, cobrindo todo o território do município, aproximadamente 220 quilômetros quadrados elaborando ortofotos digitais na escala de 1:1000 tendo como base vôo aerofotogramétrico na escala de 1:6.000 objetivando a implantação de um Sistema de Informações Geográficas. Os vetores foram obtidos através da estereorestituição digital das fotografias aéreas. Foi implantada também uma Rede de Referência Cadastral Municipal, através da tecnologia GPS compreendendo 13 vértices, sendo cinco homologados pelo IBGE.

No intuito de avaliar e homologar os produtos obtidos no Projeto, de acordo com as Especificações Técnicas do Termo de Referência contratou-se uma consultoria entre a Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da UFPE – FADE, através do Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE e a Prefeitura do Recife.

Dessa forma, todas as fases envolvidas para obtenção do Mapeamento Digital da Cidade do Recife foi validada pela referida consultoria.

Na busca por aperfeiçoar os dados cadastrais do município e reconhecendo que para realizar um trabalho preciso deve-se ir além das imagens, buscou-se de uma forma geral, obter o mapeamento digital georreferenciado do município, envolvendo coleta, georreferenciamento e codificação, além de implantação da Rede de Referência Cadastral Municipal do município. O resultado é um sistema de informações georreferenciadas beneficiando todas as Secretarias, empresas municipais, estaduais e usuários de âmbito geral que utilizam dados sobre a cidade.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Etapas do Mapeamento

Segundo contrato firmado entre a Prefeitura do Recife e a empresa contratada para execução do projeto, as etapas a serem executadas foram:

- Cobertura Aerofotogramétrica na escala 1:6.000 (colorida) em toda a extensão do município (220 km^2);
- Apoio Terrestre (básico e suplementar) de 220 Km^2 (com implantação de uma Rede de Referência Cadastral Municipal);
- Aerotriangulação de 220 Km^2;
- Restituição Estereofotogramétrica planimétrica na escala 1:1.000 de 170 Km^2,sendo:
  - 150 Km^2 de restituição do sistema viário, alinhamento predial e hidrografia.
  - 18 Km^2 de restituição do sistema viário, alinhamento predial, hidrografia e divisas de lotes.
  - 1 Km^2 de restituição do sistema viário, alinhamento predial, hidrografia, divisas de lotes e edificações.
  - 1 Km^2 de restituição do sistema viário e edificações em área de baixa densidade urbana.
- Geração do Modelo Digital do Terreno (MDT) de todo o município;
- Elaboração de ortofotos digitais coloridas na escala 1:1.000 de todo o município;
- Geocodificação de 1.000 lotes.

2.1.1 Cobertura Aerofotogramétrica

A cobertura aerofotogramétrica foi executada na direção N-S-N na escala nominal de 1:6000, utilizando uma aeronave marca Piper modelo PA-31 Navajo, prefixo PT-DBM, adaptada e homologada para serviços aerofotogramétricos, equipada com equipamento de navegação GPS. Para a tomada das fotografias foi utilizada câmara aérea marca Zeiss modelo LMK 2000, equipada com cone grande angular de distância focal calibrada 152,345 mm.

O filme aéreo colorido utilizado foi do tipo Kodak Aerocolor III Negative Film 2444, alto contraste, específico para médias e altas altitudes, de dimensões 9½in.x 200ft, com poder resolutivo superior a 125 linhas/mm.

Conforme especificações técnicas do Termo de Referência foi utilizado um recobrimento lateral de 30% com tolerância de +10% e -5% e um recobrimento longitudinal de 60% com uma tolerância de +10% e -5%.

Para digitalização do filme foi utilizado um scanner fotogramétrico da marca Wehrli Associators, modelo RM-5, calibrado, com resolução radiométrica de 33 bits (11 bits para cada banda do padrão RGB) e resolução geométrica mínima de 4 (quatro) mícrons e seus múltiplos.

A confecção das fotos foi realizada no formato 0,23 m x 0,23 m. Com a finalidade de identificar cada uma das fotos individualmente, além dos números de faixa e foto, foi anexada no verso de cada uma das fotografias aéreas, uma etiqueta contendo: o número do projeto, escala da foto, câmara utilizada, sentido do vôo, distância focal calibrada, autorização do Ministério da Defesa, época de realização do vôo, localidade e empresa executora.

O fotoíndice foi elaborado através da montagem das imagens das fotografias digitalizadas no processo de digitalização que tiveram balanceamento radiométrico e reamostradas para 132 DPIs. Esta imagem foi georeferenciada onde foram acrescentadas as seguintes informações:

- Enquadramento e coordenadas geográficas;
- Número das fotos;
- Número das faixas;
- Toponímia dos principais elementos cartográficos;
- Indicação da direção do Norte geográfico;
- Escala das fotos;
- Escala do foto-índice;
- Mapa de localização;
- Nome da contratante;
- Nome da contratada.
- Número e nome do projeto
- Nome de Bairros

2.1.2 Apoio Terrestre

É o conjunto de pontos à ser determinado no campo, definido por suas coordenadas planimétricas e altimétricas. Estes pontos, com a finalidade de fornecer subsídios aos trabalhos de aerotriangulação e restituição fotogramétrica, têm respectivas identificações nas fotos e são dimensionados previamente em gabinete através de fórmulas matemáticas, que estabelecem as distâncias dos pontos de apoio a serem determinados em campo (IBGE, 1998).

Para a execução do apoio terrestre foram necessários três procedimentos de trabalho realizados distintamente, quais sejam:

- Determinação de coordenadas e altitudes geométricas dos vértices da Rede de Referência implantada bem como dos pontos de apoio suplementar necessários para a fase de aerotriangulação, através do processo de posicionamento tridimensional por satélites do sistema GPS (Global Positioning System);
- Determinação de altitudes ortométricas através do nivelamento geométrico, de alguns marcos pertencentes à rede de referência planialtimétrica implantada;
- Determinação de altitudes ortométricas de alguns vértices pertencentes à rede de referência planialtimétrica implantada e dos pontos de apoio suplementar através do uso de mapa geoidal relativo (Figura 01), obtido a partir dos pontos com altitudes ortométricas conhecidas aplicado às altitudes geométricas obtidas no processo de posicionamento com uso do sistema GPS. Em se tratando dos vértices que compõem a Rede, aqueles implantados em lajes sobre prédios, conforme definido pelos técnicos da Prefeitura.

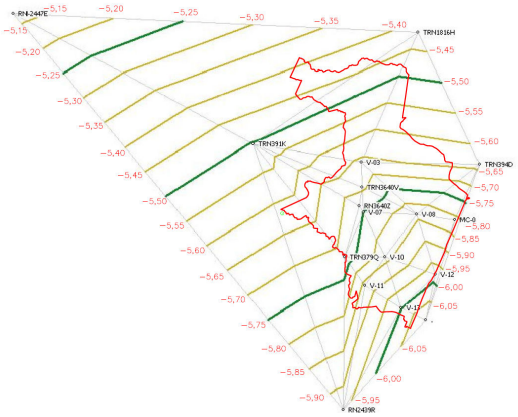

Figura 01 – Mapa Geoidal Relativo – Recife/PE
Fonte: Relatório Final – ENGEFOTO (2007)

2.1.3 Aerotriangulação

É o método fotogramétrico utilizado para determinação de pontos fotogramétricos,visando estabelecer controle horizontal e vertical através das relações geométricas entre fotografias adjacentes à partir de uma quantidade reduzida de pontos determinados pelo apoio suplementar, com a finalidade de densificar o apoio necessário aos trabalhos de

restituição, após ajustamento (IBGE, 1998). Sendo assim, a aerotriangulação visa a densificação do apoio fotogramétrico para a execução de restituição estereofotogramétrica e elaboração de ortofotocartas na escala de 1:1.000, a partir da cobertura aérea na escala 1:6.000.

Neste projeto foi realizada aerotriangulação pelo método analítico dos raios de feixes conjugados "Bundle Method", cujo algoritmo geométrico são as equações de colinearidade.

Os pontos fotogramétricos, também chamados de pontos instrumentais, que participaram da aerotriangulação foram os pontos de ligação de modelos, marcados na linha central vertical de cada imagem, em locais bem nítidos, próximos aos pontos de "Von Grüber", a fim de evitar os erros provenientes da transferência de pontos entre imagens consecutivas e os pontos de ligação de faixas marcados na região de superposição lateral entre faixas, dispostos de maneira a evitarem o alinhamento entre pontos.

2.1.4 Restituição Estereofotogramétrica

Restituição é o procedimento que pretende obter de fotografias aéreas ou terrestres, as feições planimétricas e/ou altimétricas de uma determinada localidade expressa na projeção ortogonal após restabelecer a equivalência geométrica entre a fotografia e o filme.

Para o IBGE (1998), é a elaboração de um novo mapa ou carta, ou parte dele, à partir de fotografias aéreas e levantamentos de controle, por meio de instrumentos denominados restituidores, ou seja, é a transferência dos elementos da imagem fotográfica para a minuta ou original de restituição, sob a forma de traços.

Portanto a restituição estereofotogramétrica digital executada no projeto consistiu na vetorização ou desenho de elementos gráficos a partir da interpretação de feições ou objetos na imagem de uma fotografia aérea em meio digital, em um modelo estereoscópico orientado em estações fotogramétricas digitais. Deve-se entender por modelo estereoscópico,o par de imagens orientadas (dados da aerotriangulação) que permite que um técnico consiga visualizar e medir a feição, não apenas planimetricamente, como também altimetricamente.

O resultado da restituição é um conjunto de arquivos de dados vetoriais, referenciado a um sistema de projeção cartográfica e à rede geodésica fundamental, os quais contêm coordenadas tridimensionais das feições cartográficas interpretadas pelo operador de restituição. Os dados vetoriais são armazenados em arquivos gráficos digitais e são compostos por níveis de informação e elementos gráficos distintos (pontos, linhas, polilinhas, textos, etc) os quais representarão as diversas feições cartográficas que formam a carta topográfica.

Os níveis de informação, assim como, os símbolos e traços da planta foram planejados e organizados, sob a forma de tabela de níveis (Figura 03) correspondendo a uma biblioteca de símbolos e traços definidas em comum acordo com a equipe técnica da Prefeitura Municipal de Recife.

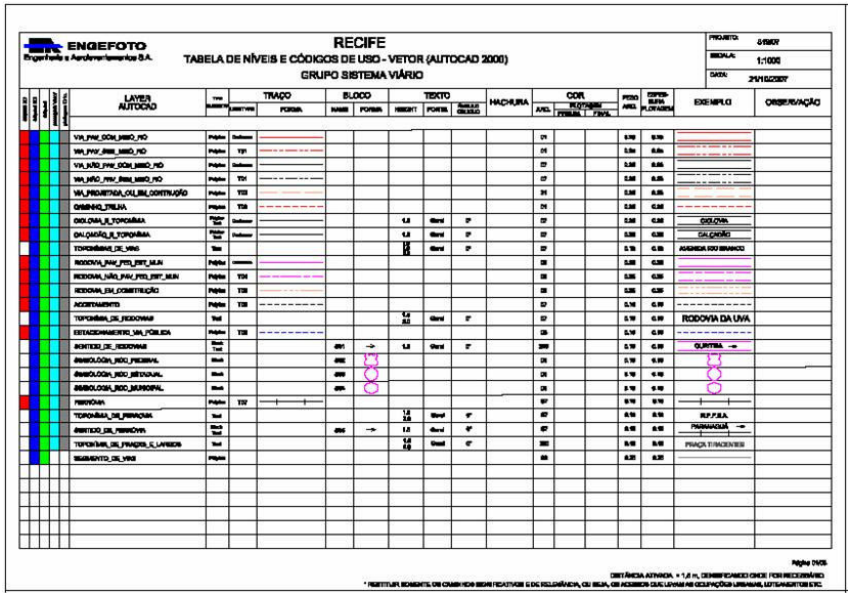

Figura 03 – Exemplo de Tabela de Níveis
Fonte: Relatório Final – ENGEFOTO (2007)

Foram restituídos os elementos gráficos, conforme a Tabela 01, compatíveis com a escala 1:1.000, desde que fotoidentificáveis:

Grupo	Elementos Identificáveis
Sistema Viário e de Transporte	Arruamentos (vias pavimentadas com e sem meio-fio, vias não pavimentadas com e sem meio-fio, vias projetada e em construção, caminhos e trilhas)
	Rodovias federais e estaduais (pavimentadas e não pavimentadas)
	Acostamentos
	Ferrovias
Obras de Arte	Pinguelas, pontes, bueiros, viadutos, túneis, trincheiras, galerias, passarelas
	Toponímia dos elementos anteriores
Hidrografia	Rios e riachos perenes e intermitentes, lagoas, açudes, alagados e brejos
	Toponímia dos elementos anteriores
Apoio Terrestre	Vértices do apoio geodésico horizontal e vertical
Altimetria	Passagens de nível;
	Bifurcações e interseções de estradas;
	Picos de elevação;
	Campos de pouso;
	Áreas planas;
	Depressões;
	Cabeceiras de pontes, viadutos e passarelas;
	Margens de lagos, lagoas, açudes e represas;
	Rios principais (NA:nível d'água);
	Barragens;
	Detalhes importantes dentro da cidade;
	Pontos de alteração brusca de declividade do terreno.

Tabela 01 – Elementos Restituídos – área de 150 km^2
Fonte: Relatório Final – ENGEFOTO (2007)

2.1.5 Modelo Digital do Terreno

Chama-se Modelo Digital de Terreno uma representação matemática contínua da distribuição espacial das variações de altitude numa área. Ele é construído a partir das curvas de nível e pontos altimétricos.

De acordo com Luiz et al (2007), o modelo digital de terreno é uma representação digital de uma seção da superfície, dada por uma matriz de pixels com coordenadas planimétricas (x,y) e um valor de intensidade do pixel, correspondente à elevação. A partir de estereopares de imagens obtidas pelos sensores remotos atuantes no espectro óptico, é possível gerar um Modelo Digital de Terreno pelo princípio da Estereoscopia.

A geração do Modelo Digital do Terreno (MDT) é fundamental na ortorretificação das fotografias aéreas digitalizadas. Inicialmente foi gerado um MDT de modo que contemplasse um conjunto de folhas e não apenas uma única. Dentre os níveis coletados durante a fase de restituição foram utilizados os seguintes como fonte para formação do MDT:

- Nuvem de pontos: contendo todos os pontos cotados obtidos na estação estereofotogramétrica.
- Breaklines: contendo o sistema viário (arruamentos, rodovias, ferrovias, pontos e viadutos), hidrografia (rios, lagos e canais), cortes e aterros.

Cada tipo de dados (nuvem de pontos e breaklines) foi armazenado em níveis de informações distintos nos arquivos vetoriais que estão servindo de fontes para a geração do MDT. Vale salientar que as breaklines são fundamentais na modelagem do terreno, pois elas representam as rupturas na morfologia do mesmo, identificando e representando as deformações e imperfeições existentes na superfície.

2.1.6 Ortofotos Digitais

A ortofoto digital é o resultado da transformação de imagens digitais, cuja geometria é a da perspectiva central, em imagem de projeção ortogonal.

A execução das Ortofotocartas é precedida da elaboração do modelo digital do terreno (DTM), o qual foi obtido de maneira tradicional, com triangulação de Delaunay de uma rede irregular de pontos – TIN, processada pelo software TIN Generator criado pela GeoKosmos.

A ortorretificação consistiu em corrigir geometricamente as fotografias aéreas das variações ocasionadas devido ao relevo e atitudes da aeronave durante a execução da cobertura aérea, entre outras. Esta correção nada mais é do que uma transformação geométrica onde a perspectiva central da fotografia é transformada em projeção ortogonal.

O MDT permitiu a determinação da cota altimétrica correspondente a cada pixel da ortofoto digital. As equações projetivas aumentadas dos parâmetros de refração e de calibração da câmera, juntamente com os dados de orientação externa, permitiram encontrar o ponto correspondente na imagem original da fotografia aérea digital. O algoritmo de reamostragem, no caso foi será o bilinear, que permitiu determinar a cor ou tom de cinza do pixel da ortofoto.

O georreferenciamento das ortofotos resultantes foi no sistema de projeção e datum do projeto, ou seja, na projeção UTM (Universal Transverso de Mercator) no Meridiano Central 33°W e no Datum SIRGAS.

Com relação à nomenclatura das ortofotos de entrega, estas tiveram os mesmos nomes que constam na articulação da UNIBASE.

2.1.7 Geocodificação

Geocodificação é o processo de codificar as feições gráficas com base na sua posição geográfica e nos atributos vinculados. Esta atividade consistiu basicamente na compatibilização dos elementos restituídos (divisas de propriedades representadas por elementos físicos) com as divisas legais (elementos coletados das plantas de quadras existentes na Prefeitura).

Os elementos necessários para a execução desta etapa, tais como: arquivos digitais das plantas de quadras, plantas de referência cadastral por setor fiscal, banco de dados, plantas de loteamentos e outros, que possam auxiliar no lançamento da malha urbana, foram disponibilizados pela Prefeitura, para utilização na sede da Engefoto. As quadras que apresentam divergência e que não puderam ser esclarecidas pela Engefoto foram executadas em conjunto com os técnicos designados pela Prefeitura para acompanhamento desta etapa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Cobertura Aerofotogramétrica

3.1.1 Fotografias aéreas na escala 1:6.000

Figura 04 – Fotografias Aéreas (esquerda e direita) na escala de 1:6.000
Fonte: Prefeitura do Recife

3.2 Rede de Referência Cadastral Municipal

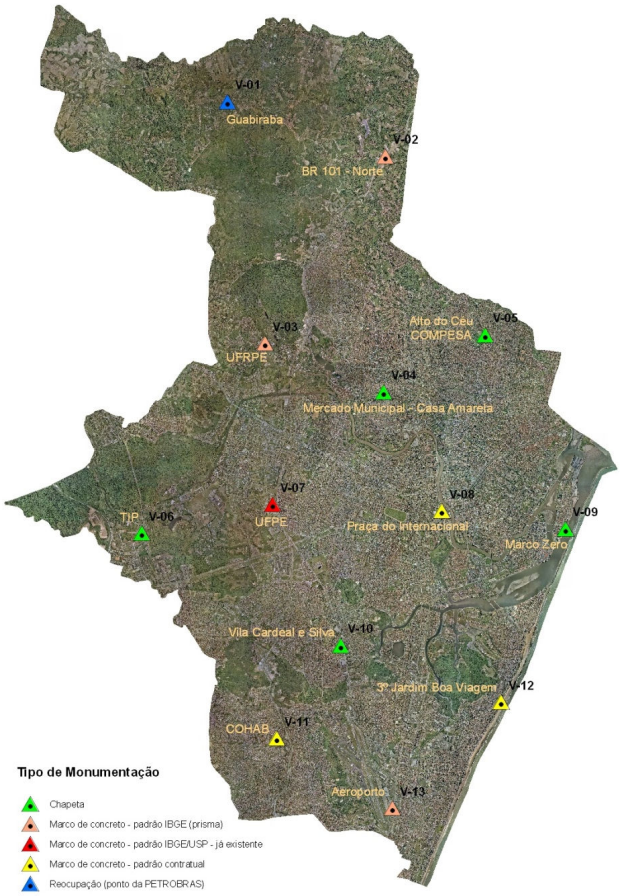

Figura 05 – Rede de Referência Cadastral Municipal
Fonte: Prefeitura do Recife

3.3 Ortofotos Digitais na escala 1:1.000

Figura 06 – Trecho da Ortofoto 90_39-05
Fonte: Prefeitura do Recife

3.4 Ortofotocartas Digitais na escala 1:1.000

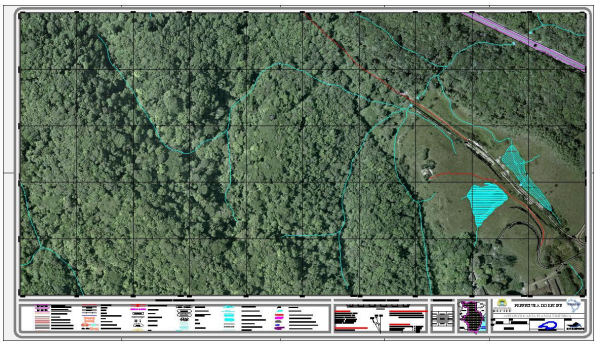

Figura 07– Ortofotocarta Digital
Fonte: Prefeitura do Recife

3.4 Modelo Digital de Terreno

Figura 08– Perspectiva utilizando o Modelo Digital de Terreno
Fonte: Prefeitura do Recife

A elaboração da Base Cartográfica Digital do Município de Recife marca uma nova etapa na administração municipal, servindo como base de precisão para uso em Geotecnologias e referência geodésica oficial para a atualização de novos projetos, facilitando o processo de atualização cartográfica, dentro de um sistema único, integrado ao sistema nacional, recomendado pelo IBGE. Além disso, os usuários de uma forma geral dispõem de uma Rede de Referência Cadastral Municipal em SIRGAS2000 distribuída por todo o município.

As informações ultrapassadas geravam uma infinidade de conflitos para a administração pública e a necessidade de um novo mapeamento era cada vez mais eminente. Além de corrigir as distorções do mapeamento anterior, um dos grandes objetivos alcançados neste projeto foi obter uma base cartográfica digital confiável e precisa. Além disso, um dos benefícios para a administração pública é o conhecimento do espaço urbano, esclarecendo pontos como o uso e ocupação do solo.

3.1. Disponibilização

A Prefeitura do Recife dispõe de um Sistema de Informações Geográficas Corporativo confeccionado e implantado após a etapa de mapeamento digital a cidade. Desta forma, os produtos oriundos do Projeto de Mapeamento da Cidade do Recife, tais como as ortofotocartas, a Rede de Referência Cadastral, vetores da restituição aerofotogramétrica e curvas de nível, encontram-se disponíveis na web na página www.recife.pe.gov.br/ESIG/ (Figura 09).

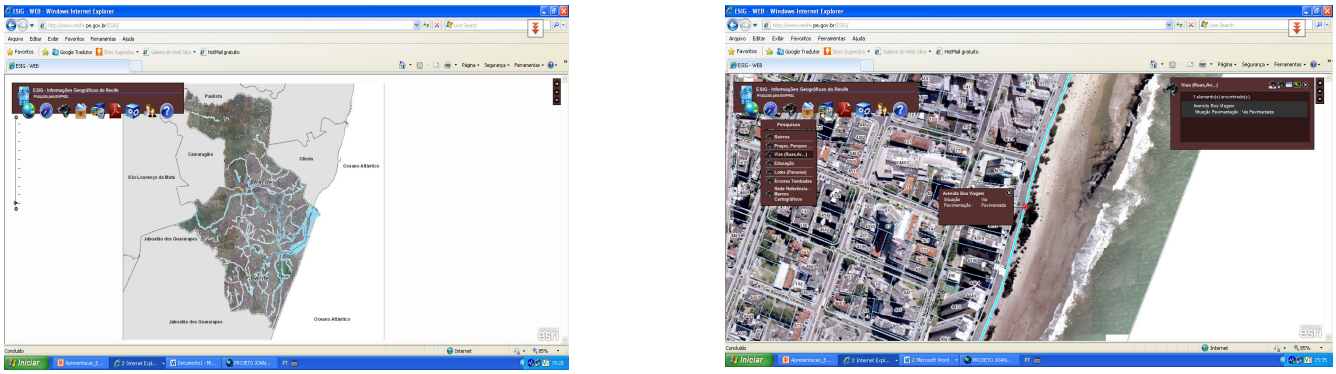

Figura 09– Visualização dos dados na web
Fonte: www.recife.pe.gov.br/ESIG/

4. PERSPECTIVAS FUTURAS

Está previsto para o início do ano de 2012 uma Atualização Cartográfica através de um novo vôo fotogramétrico na escala de 1:6.000 e Perfilamento a Laser (ALS – Airborne Laser Scanning), também conhecido como sistema aerotransportado de laser para mapeamento do terreno (ALTM – Airborne Laser Terrain Mapper).

Este é um sistema que adquire dados digitais de elevação do terreno com precisão equivalente ao GPS. O sensor principal do sistema está localizado em uma aeronave cujo deslocamento sobre uma área de interesse é extremamente rápido.

Essa tecnologia garante margem para futuros desenvolvimentos, especialmente nos algoritmos de geração dos modelos digitais e nos componentes do sistema com maior capacidade de varredura, permitindo avanços na capacidade de identificação e classificação de objetos.

Na prática, os sistemas de perfilamento a laser operam em qualquer horário diurno ou noturno. As únicas interrupções são físicas, como chuva ou nuvens muito densas, entre o local perfilado e a aeronave. As vantagens são muitas, obtendo-se um resultado mais rápido e com menor custo.

Espera-se atualizar os níveis de informações já restituídos no mapeamento de 2007, bem como determinar polígonos de edificações em áreas de risco, localizados particularmente em áreas de morros e sujeitas à inundação estimada em aproximadamente 60 (sessenta) quilômetros quadrados de forma a dar suporte ao Plano Municipal de Redução de Riscos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo agradecem a Prefeitura Municipal do Recife - PE, pela colaboração no sentido de ceder os dados e informações ora apresentados.

6. OBSERVAÇÕES

A concepção, metodologia (procedimentos e execução) e Resultados foram obtidos dos relatórios enviados à Prefeitura do Recife pela Empresa contratada, ENGEFOTO, vencedora da licitação.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Noções Básicas de Cartografia**, 1998. Disponível em http://geoftp.ibge.gov.br/documentos/cartografia/nocoes_basicas_cartografia.pdf, Acesso: 10 de outubro de 2011.

Empresa de Aerolevantamento S/A – ENGEFOTO. **Relatório Conclusivo**, 2008.

KUGLER, A. **Aerotriangulação Digital**. Disponível em http://www.esteio.com.br/downloads/pdf/aerotriangulacao_digital.pdf Acesso: 29 outubro de 2011.

LUIZ, S; SANTOS, A.R.S.; BRENNER, T. L. **Geração de Modelo Digital de Elevação a partir de Imagens Reference Stereo do Satélite IKONOS**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 581-587. Disponível em: http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.15.41.56/doc/581-587.pdf Acesso: 10 de outubro de 2011.

SILVA, E. A. **Cartografia Municipal**. Disponível em: http://www.mbi.com.br/mbi/biblioteca/artigos/2010-01-cartografia-municipal/, Acesso: 06 de novembro de 2011.