

MAPEANDO CIDADES

Juan Carlos Gortaire Cordovez¹

PALAVRAS-CHAVE: Geoprocessamento em Prefeituras, SIG, Mapeamento., Gestão Urbana.

INTRODUÇÃO

No Brasil, especialmente na última década, as tecnologias que fazem parte do Geoprocessamento, também denominadas Geotecnologias, vêm sendo implementadas e utilizadas como ferramentas de auxílio para a tomada de decisões das mais diversas atividades de gestão urbana, não apenas por gestores públicos, mas também por prestadores de serviços, empreendedores, pesquisadores, comerciantes e outros profissionais cuja atividade requer o conhecimento pleno do território onde atuam ou pretendem atuar.

Entretanto, como gestoras naturais do território urbano, cabe às Prefeituras promover a coleta, troca, catalogação, organização, manutenção e atualização das informações necessárias para um eficiente e amplo aproveitamento dessas geotecnologias.

Por outro lado, em uma administração que valoriza a transparência e participação popular, valores tão propalados atualmente, o uso de geoprocessamento propicia a democratização das informações públicas. Afinal, muitas dessas informações podem ser geradas por **Sistemas de Informações Geográficas - SIG** ou **GIS**, a partir de dados gráficos e alfanuméricos que representam a realidade urbana.

Neste trabalho, apresentam-se de forma organizada os diversos dados, gráficos ou não, que devem dar suporte a um SIG municipal e as diferentes técnicas com que esses dados podem ser obtidos, de maneira a ter um “Modelo Digital Urbano” que, dentro das possibilidades econômicas

¹ Engenheiro Civil MSc., Coordenador de Geoprocessamento, Secretaria Municipal de Planejamento – SEPLAN, Pça. Gal. Valadão, 341 – Centro. CEP 49010-520. Aracaju – SE, e-mail: juan.cordovez@aracaju.se.gov.br Tel-fax: (0xx79) 214-4591 ou 214-3862

de cada cidade, represente a realidade física da cidade, as pessoas que nela moram ou trabalham e os eventos que nela ocorrem.

O título escolhido: “Mapear Cidades”, refere-se justamente aos dados e atividades necessários para obter esse “Modelo Digital Urbano” que inclui, mas vai muito além do tradicional mapa ou base cartográfica.

Baseado na experiência da Prefeitura Municipal de Aracaju, que atualmente encontra-se em plena fase de implantação de Geoprocessamento, este trabalho pretende se tornar uma fonte de consulta para orientar outras Prefeituras que, dispostas a se aventurarem no mundo “GEO”, precisem definir quais os dados a serem levantados e quais os métodos e tecnologias a serem utilizadas para esse fim.

I – OS DADOS NO CONTEXTO DO GEOPROCESSAMENTO

O esquema mostrado na sequência apresenta um esquema funcional do Geoprocessamento. A partir deste esquema as atividades envolvidas na implantação do GEO podem ser divididas em três etapas:

- a) Coleta e preparação dos dados: gráficos (mapas, imagens) e alfanuméricos (cadastros);
- b) geocodificação ou associação dos dados alfanuméricos com os dados gráficos;
- c) geração de informações geográficas para diversos usos: mapas temáticos, análise espacial, análise temporal, etc.

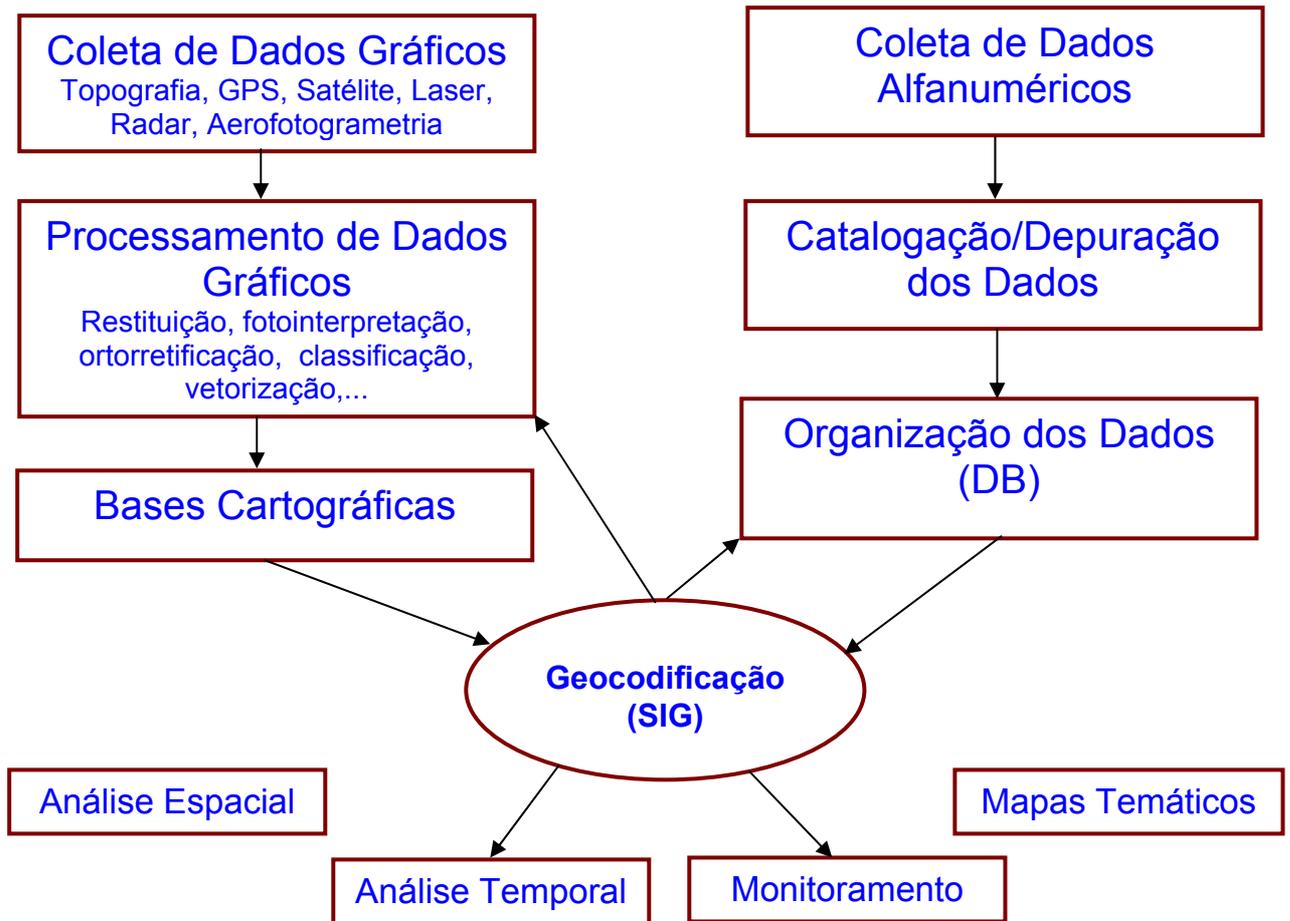


Figura1 – Esquema Funcional do Geoprocessamento

Do ponto de vista quantitativo, como em nenhuma outra das Tecnologias da Informação (TI), no Geoprocessamento os dados que permitem gerar informações geográficas representam o maior custo relativo e sua coleta e preparação demandam maior tempo se comparados com o software, o hardware e a capacitação dos usuários necessários para a total implantação do GEO em qualquer instituição.

Todavia, uma escolha errada das técnicas necessárias para a coleta, captação ou geração desses dados, pode provocar grandes perdas financeiras, gerar dados incompletos ou errados, demorar demasiado tempo e, na pior das hipóteses, abortar o processo de implantação de GEO. Nesse sentido, este trabalho pretende auxiliar na definição dos dados e das técnicas para sua obtenção e preparação, tentando aumentar as possibilidades de sucesso na empreitada.

II – O QUE É MAPEAR? - MAPEAR O QUE?

No contexto deste trabalho, utiliza-se o termo “**Mapear Cidades**” no sentido de associar a um mapa ou base cartográfica, o maior número de dados ou informações relativas à realidade física e sócio-econômica de uma cidade, aos equipamentos urbanos nela instaladas e aos serviços que eles prestam.

O conjunto formado pela base cartográfica digital e os dados e informações a ela associada pode ser chamado de “**Modelo Digital Urbano**” ou **MDU** que, na prática, é uma simulação, a mais fiel e completa possível, da cidade no computador.

Sugere-se que um MDU, para ser utilizado como base de um SIG municipal, contenha pelo menos estes três componentes fundamentais:

- a) Um **Cadastro Técnico Multifinalitário – CTM** que compreenda, no mínimo, o cadastro imobiliário, o cadastro de logradouros e o cadastro comercial do município. Idealmente, ele pode ser complementado com cadastros da infra-estrutura instalada, equipamento urbano e transporte.
- b) Um **Cadastro Sócio-Econômico – CSE** que pode conter dados censitários ou demográficos cadastros sócias e cadastros de usuários dos serviços municipais.
- c) Um **Mapa Urbano Básico – MUB** que, no formato de uma base cartográfica digital, possua o maior número de feições gráficas representativas da organização territorial, da divisão fiscal do município, do meio ambiente natural e do construído e dos elementos dos cadastros técnico e sócio-econômico.

No caso de Aracaju, o MDU inclui um quarto componente chamado de **Acervo de Imagens – AI**, que compreende imagens de satélite, fotografias aéreas, ortofotos, fotografias panorâmicas e fotografias convencionais, atuais ou antigas que possam ser disponibilizadas em meio digital para consulta individual ou em conjunto com o MUB.

Nos próximos capítulos serão detalhados estes quatro componentes. Já no Anexo I, a Tabela 1 apresenta uma proposta de MDU detalhada que atende as necessidades de Aracaju. Entretanto, ela pode ser tomada apenas como referência, complementada e adequada para a realidade de outras prefeituras. É importante mencionar, por exemplo, que Aracaju é um município 100% urbano onde

praticamente inexistente atividade agrícola ou pecuária em escala comercial, mesmo na zona de expansão menos adensada.

Na tabela, as últimas colunas indicam se o sub-tema ou nível de informação faz parte do Cadastro Técnico Municipal – CTM, do Cadastro Sócio Econômico – CSE, do Mapa Urbano Básico – MUB e/ou do Acervo de Imagens – AI.

A proposta não faz referência a nenhum banco de dados em particular, porque isso limitaria sua aplicação. O objetivo aqui não é apontar uma solução técnica em termos de software, apenas orientar na definição conceitual do MDU.

Os termos Tema e Sub-tema utilizados na classificação dos dados podem ser substituídos por Classe e Sub-classe, Nível e Sub-nível, ou qualquer outra denominação que se ajuste mais à cultura de trabalho local e a solução de informática adotada para a implantação do SIG municipal.

Na formatação do MDU em Aracaju, só foram incluídos dados ou informações relevantes para o conjunto da Administração Municipal e cuja atualização seja garantida. São estes os dados que irão compor o Sistema de Informações Urbanas Georreferenciadas de Aracaju – SIUG, hoje em fase de projeto.

Não é recomendável inflar o MDU com dados de interesse setorial ou com aqueles cuja atualização não possa ser garantida pelo setor que cuida da manutenção do modelo. Dados não atualizados podem prejudicar a confiabilidade do MUD e a credibilidade do SIG municipal perante a comunidade de usuários. Já os dados de interesse setorial podem fazer parte de sub-aplicativos do SIG de uso local nos diferentes órgãos da Administração Municipal. Como exemplo, a Tabela 2 do Anexo I apresenta alguns temas que foram sugeridos a órgãos da Prefeitura de Aracaju e cuja coleta e atualização serão de exclusiva responsabilidade desses órgãos.

III – O CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO

Cadastro pode ser definido como um banco de dados que contém de forma organizada, depurada e classificada informação pertinente a qualquer tema. O Cadastro Técnico Multifinalitário

ou CTM de um município é aquele que, a partir de dados físicos, econômicos, cartográficos e jurídicos, permite ao gestor ter pleno conhecimento do território urbano.

No estágio atual da tecnologia da informação, não se admitem mais bancos de dados analógicos. Por outro lado, com os sistemas gerenciadores de bancos de dados existentes no mercado hoje é muito mais fácil garantir a consistência, integridade e atualização desses cadastros.

Em resumo, as questões tecnológicas de implantação e manutenção do cadastro não são o principal problema. As maiores dificuldades estão na definição estratégica das finalidades do cadastro e, a partir destas, dos dados que deverão compô-lo.

Como exemplo podem ser destacadas às seguintes aplicações do cadastro técnico: a tributação, a fiscalização de atividades econômicas, a fiscalização de obras, a transação de imóveis, o planejamento urbano, o monitoramento do meio ambiente, a regulação dos serviços públicos, a democratização da informação pública.

No caso de Aracaju, atualmente o CTM é composto pelo Cadastro Imobiliário – CADIM, o Cadastro de Logradouros – CADLOG e o Cadastro Mobiliário – CADMOB, sendo os três mantidos pela Secretaria Municipal de Finanças, o que se explica pelo caráter tributário dos mesmos. Dos três, o que apresenta melhor grau de atualização e confiabilidade é o CADIM que serve de base para o cálculo e lançamento do IPTU.

Para orientar no projeto do CTM e com base nas experiências de Aracaju e de outros municípios brasileiros cabem as seguintes recomendações:

- O CTM deve abranger todo o território da cidade e não apenas as unidades imobiliárias passíveis de tributação.
- O CTM deve ser multi-finalitário de fato e não apenas tributário ou fiscal.
- As atividades de cadastro devem prever o levantamento do maior número de informações possível em cada visita dos cadastradores aos imóveis, logradouros e atividades econômicas.
- Os bancos de dados do CTM devem ser únicos, evitando ré-trabalho na coleta e manutenção dos dados e, pior ainda, sua duplicidade.

- A atualização do CTM deve ser permanente e deve ocorrer simultaneamente com a atualização da base cartográfica ou do Mapa Urbano Básico – MUB.
- O CTM idealmente deve abranger todo o eco-sistema municipal incluindo o meio ambiente natural e o construído.
- O usuário deve conhecer, através de metadados, qual é o grau de atualidade e integridade dos dados que está acessando.
- Deve-se promover a integração do CTM com as atividades cartoriais de registro de imóveis.
- Uma das finalidades do CTM deve ser a divulgação de informações para o cidadão, preservados a privacidade dos cidadãos e o sigilo de informações que o requeiram.
- Sugere-se utilizar GPS, especialmente para localização de equipamentos e mobiliário urbano não amarrados a um lote ou a um trecho de logradouro.
- Fotografias de todos os imóveis, equipamentos e mobiliário urbanos podem ser incluídas no Acervo de Imagens e vinculadas a cada lote do MUB.

IV – CADASTROS SOCIO-ECONÔMICOS

Fugindo um pouco da definição formal do termo sócio-econômico, neste tipo de cadastros podem ser incluídos dados relativos à realidade social e econômica da população do município, assim como dados demográficos e censitários provenientes do IBGE.

Quanto aos dados do IBGE, é necessário que o MUB conte com os setores censitários e a divisão de bairros que o IBGE considerou na época dos censos ou contagens populacionais. No caso de Aracaju, conta-se com a malha de setores e bairros de 1996 e 2000. Ainda não foi possível obter, junto ao IBGE, a malha censitária de 1991.

Quanto aos dados censitários, estes podem ser adquiridos do IBGE em meio digital. No caso de 1991 são disponibilizados apenas os microdados onde cada registro corresponde a um domicílio. É necessário processar e agregar esses dados em setores ou bairros.

Os outros cadastros sócio-econômicos vão depender das finalidades de cada município e deve se estudar a conveniência ou não de sua inclusão no Modelo Digital Urbano – MDU.

Um desafio a ser perseguido pelo setor que cuida da implantação do GEO no município, é a de convencer os gestores e servidores municipais que lidam com dados sociais ou econômicos sobre as vantagens da espacialização desses dados, fazendo com que eles ganhem um valor agregado: o atributo “ONDE”. Em todas os setores da administração municipal, mas especialmente nos da área social, existe uma resistência a localizar espacialmente as informações, em parte pela dificuldade em interpretar mapas ou fotografias aéreas, em parte pela idéia errônea de que o “como” e o “quanto” são suficientes para diagnosticar e resolver problemas.

No intuito de conquistar a adesão desses setores ao projeto GEO de um município, as fases de cadastro, coleta e catalogação dos dados devem ser simplificadas ao máximo. Quase sempre, formulários analógicos e planilhas eletrônicas convencionais podem ser suficientes para estas etapas, cabendo ao setor de GEO ou a quem dá suporte de informática a migração desses dados para bancos mais sofisticados.

Já a manutenção e atualização desses dados podem ser facilitadas com pequenos aplicativos componentes do SIG municipal ou conectados a ele.

V – O MAPA URBANO BÁSICO

Dos componentes do MDU, o MUB é, sem dúvida, o de mais difícil, dispendiosa e demorada obtenção. Afinal, a base cartográfica digital, principal elemento do MUB, é um produto técnico especializado que deve obedecer a padrões de exatidão e precisão cartográfica.

O município que pretende implantar Geoprocessamento deve estar ciente que uma base cartográfica digital completa, precisa e atualizada, é condição indispensável para a correta espacialização das informações. Além disso, geotecnologias como o sensoriamento remoto e o GPS oferecem e ao mesmo tempo exigem precisão cartográfica dessa base.

Quanto às aplicações do GEO, são poucas as que prescindem de precisão. Como exemplo podemos citar alguns mapas temáticos, especialmente os sócio-econômicos e demográficos. Para a grande maioria das aplicações a precisão é fundamental, especialmente quando o objetivo é localizar exatamente objetos no mapa ou no terreno, quando se pretende trabalhar com coordenadas,

distâncias, áreas ou ângulos, quando em cima das informações mapeadas serão feitas buscas e consultas com critérios geográficos e análises espaciais ou quando se pretende usar geoestatística.

Antes de um município contratar a elaboração ou a atualização de sua base cartográfica, deve analisar os produtos pré-existentes (mapas, fotografias aéreas, ortofotos) para decidir se podem ser aproveitados ou devem ser descartados. Os seguintes aspectos devem ser considerados nessa análise:

- O ano de obtenção: em função da dinâmica de crescimento da cidade, os produtos podem representar realidades muito diferentes da atual, fazendo com que o custo de atualização fique próximo do custo de uma nova base.
- O sistema de coordenadas e o DATUM: se os produtos apresentarem sistema de coordenadas diferentes do UTM e DATUM que não seja o SAD-69, será necessária uma transformação em software especializado antes de tentar aproveitar esses produtos.
- A escala: escalas inadequadas, além de prejudicar a precisão, podem impedir o uso de geotecnologias como GPS. Para ser utilizado num MDU, fotografias aéreas não podem apresentar escalas menores a 1:10.000 em áreas adensadas e 1:25.000 em áreas rurais. Para mapas restituídos e ortofotos os limites admissíveis são 1:2.000 e 1:5.000, respectivamente.
- A apresentação e estado dos produtos: fotografias e mapas analógicos devem ser escaneados o que demandará maiores custos sem garantir precisão.

Caso o município opte por elaborar uma nova base cartográfica, seja por falta de uma base anterior ou pela impossibilidade de aproveitar as existentes, as seguintes alternativas devem ser consideradas:

- Restituição aerofotogramétrica
- Vetorização em cima de ortofotos digitais
- Vetorização a partir de imagens de satélite
- Levantamento com GPS
- Levantamento topográfico convencional

Na seqüência é apresentada uma breve descrição para cada uma destas possibilidades tecnológicas, cingindo-se, no final, a solução adotada para o caso de Aracaju.

5.1 Restituição estereofotogramétrica digital

Até poucos anos atrás a restituição estereofotogramétrica era o único método confiável e preciso para criação e elaboração de mapas a partir de fotos aéreas.

O método se baseia na digitalização de feições do tipo ponto, linha e polígono a partir da visão tridimensional ou estéreoscópica dos objetos fotografados. Esta visão é possível devido ao chamado efeito de paralaxe que consiste na observação simultânea de um mesmo objeto segundo dois ângulos de observação distintos, permitindo ao usuário ter uma percepção de profundidade.

Com exceção da fase de obtenção das fotografias aéreas que, por enquanto, continuam sendo analógicas, hoje o processo é feito quase totalmente no computador e compreende as seguintes etapas:

Recobrimento aerofotogramétrico: é feito por faixas de vôo e exige uma sobreposição longitudinal entre fotos de 60% (*overlap*) e transversal entre faixas de 30% (*sidelap*). As áreas em que duas fotografias se sobrepõem são chamadas de modelos estéreoscópicos.

O vôo só pode ser realizado em época de pouca ou nenhuma nebulosidade e, para facilitar a restituição posterior, é conveniente que seja efetuado entre 10:00h e 15:00h para minimizar a presença de sombras. Idealmente, as fotos deveriam ser obtidas num dia ensolarado do meio do verão e num horário muito próximo do meio dia.

As aerofotos ainda são obtidas por câmeras analógicas e devendo ser posteriormente digitalizadas por escanerização. Recentes experiências com câmeras digitais apontam para sua utilização comercial na obtenção de fotos aéreas nos próximos anos. Assim, as etapas de revelação e escanerização não serão mais necessárias o que implicará numa redução de custos. Por enquanto, o altíssimo custo das câmeras digitais pesa mais.

Apoio terrestre: consiste num conjunto de pontos de controle em terra, com coordenadas e altura bem definidas, com GPS por exemplo, e que sejam facilmente identificáveis nas aerofotos. Esses e mais alguns pontos podem ser monumentalizados conformando uma rede geodésica de referência para posteriores atualizações da base cartográfica.

Aerotriangulação: inicia-se ligando mediante triângulos as faixas de vôo e os modelos estereoscópicos, através de pontos comuns. Usando processos matemáticos determinam-se as coordenadas desses pontos comuns, no mesmo sistema de referência dos pontos de apoio terrestre.

Restituição estéreo-fotogramétrica: criação das feições geométricas da carta a partir da visão estereoscópica das fotografias com instrumentos denominados restituidores. Embora ainda existam no mercado restituidores analógicos, atualmente são mais utilizados os digitais. Neles, o trabalho é feito diretamente na tela do computador (*on screen*) onde softwares específicos montam e permitem manusear os modelos estereoscópicos e restituir as feições geométricas que representam quadras, hidrografia, arruamentos, divisas de lotes, edificações, etc.

A etapa de restituição é sempre complementada pelos serviços de **reambulação, edição e desenho final**. A reambulação consiste na verificação *in loco* ou através de cartas geográficas de informações sobre toponímia e permite também sanar dúvidas sobre feições que não puderam ser plenamente definidas a partir das fotos.

A restituição propriamente dita é a etapa mais demorada do processo e, em função do número e tipo de elementos a serem restituídos, pode se tornar a mais cara.

Embora dependa em parte da habilidade do operador do restituidor, o método apresenta geralmente um grau de exatidão próximo da precisão gráfica de 0,2mm, que é o menor tamanho de ponto que o olho humano pode perceber. Isto quer dizer que o erro máximo previsto é de aproximadamente 20cm para uma carta em escala 1:1.000 ou de 2m para um mapa em escala 1:10.000.

É importante mencionar que nas cartas classe A do PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica), 90% dos pontos, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior a 0,5mm na escala da carta. Para uma escala de 1:1.000, este erro representa 50cm. Portanto, a restituição estereofotogramétrica, quando executada de forma correta, enquadra-se nesta categoria.

Uma desvantagem deste método é a necessidade de utilizar equipamentos e softwares relativamente caros, além de requerer mão de obra altamente especializada e experiente para obter os resultados esperados.

5.2 Vetorização em cima de ortofotos digitais

Nos últimos anos, o processo de elaboração de ortofotos tem sofrido grandes avanços tecnológicos e redução considerável nos seus custos, tornando-se numa alternativa prática, econômica e confiável para criação ou atualização de bases cartográficas.

Uma ortofoto não é mais do que uma foto aérea retificada, conseguindo-se que os objetos apareçam na sua verdadeira grandeza, na escala da foto é claro, tendo a mesma utilidade que um mapa no que diz respeito a medidas lineares, áreas e angulações.

A ortorretificação das fotografias aéreas visa corrigir as distorções típicas de uma fotografia aérea e que se devem basicamente a dois motivos:

A fotografia aérea é uma projeção cônica ou central do terreno numa superfície plana, o filme. Por tanto, os objetos de uma aerofoto apresentam distorções e perda de paralelismo que aumentam na proporção em que o objeto se afasta do centro da foto.

A escala da fotografia depende da altura de vôo e da distância focal na câmera. Embora a altura do avião permaneça praticamente constante no vôo, o terreno nem sempre é plano. Assim, a distância entre o avião e o terreno varia e como conseqüência a escala também muda em função da topografia do terreno.

Atualmente não se geram mais ortofotos analógicas. De fato, quase todo o processo de ortorretificação e as próprias ortofotos são digitais. As escalas mais comuns para ortofotos urbanas são de 1:1.000 e 1:2.000, normalmente obtidas de vôos em escalas 1:5.000 e 1:8.000, respectivamente.

As ortofotos digitais são arquivos matriciais ou raster que contêm imagens de pontos. Quando elas vêm acompanhadas de elementos vetoriais como curvas de nível, retícula de coordenadas, toponímia, pontos cotados, legenda, carimbo, etc., recebem o nome de ortofotocartas.

Muitos profissionais as consideram mais ricas em informações e tão confiáveis quanto um mapa tradicional.

As etapas deste segundo método são as seguintes:

Recobrimento aerofotogramétrico: para garantir a qualidade da ortorretificação, neste caso a sobreposição longitudinal entre fotos (overlap) deverá ser de 80% a 90% e a lateral entre faixas (sidelap) de 60%.

Apoio terrestre: similar ao da restituição estereofotogramétrica.

Aerotriangulação: similar ao da restituição estereofotogramétrica mas neste caso é indispensável a geração de um modelo digital do terreno (MDT) que será utilizado na ortorretificação.

Ortorretificação: é um processamento digital das imagens (fotos aéreas) que envolve um ajustamento geométrico e um ajustamento radiométrico.

O ajustamento geométrico transforma e retifica cada pixel da imagem de projeção central em projeção ortogonal. Também inclui um ajuste de escala em função da topografia do terreno obtida a partir do MDT.

O ajustamento radiométrico melhora a qualidade da imagem fotográfica através da limpeza de ruídos, contrastes e efeitos oriundos da aquisição da imagem.

Vetorização: com o aumento de precisão e resolução gráfica que as ortofotos digitais vem alcançando, hoje é perfeitamente possível vetorizar feições gráficas em cima dos objetos (quadras, meio-fios, muros, beirais) que aparecem na ortofoto.

A vetorização é feita na tela do computador (on screen) utilizando qualquer ferramenta GIS ou até mesmo um CAD sem recursos específicos de mapeamento.

Embora a qualidade da vetorização dependa em parte da habilidade, paciência e acuidade do digitalizador, normalmente o método preserva a precisão da ortofoto. Segundo as empresas

de aerofotogrametria, esta precisão pode variar de 0,5m até 1,0m para ortofotos em escala 1:1.000 obtidas de fotos aéreas em 1:5.000.

Pode-se esperar então que um mapa criado por vetorização de feições a partir de uma ortofoto digital se enquadre como carta classe B ou, na pior das hipóteses, na classe C da classificação do PEC.

Em compensação, a vetorização de feições em cima de ortofotos digitais é muito mais rápida e barata que a restituição estereofotogramétrica e não requer, como aquela, de mão de obra altamente especializada.

A Figura 2 mostra uma ortofoto digital colorida na escala 1:1.000 da zona central de Aracaju. As informações explicitamente contidas numa ortofoto, apresentam um nível de detalhamento e realismo que nenhum mapa vetorial pode oferecer.



Figura 2 – Ortofoto digital colorida de Aracaju

5.3 Vetorização em cima de imagens de satélite ortorretificadas

Até poucos anos atrás era inimaginável aproveitar imagens obtidas por satélite para mapeamento urbano. Esta opção só começou a ser cogitada e discutida após o lançamento e operacionalização do satélite Ikonos II, no final de 1999.

Antes do Ikonos II, imagens de satélites como o SPOT 4 e o RADARSAT ofereciam uma resolução espacial de 10m no modo pancromático (escalas de cinza) e de 20m ou mais no multi-espectral (colorido). Ninguém cogitava a idéia de utilizar essas imagens para atualizar ou criar bases cartográficas urbanas.

No caso do Ikonos II, a resolução espacial das imagens multiespectrais é de 4m e a das imagens pancromáticas chega a 1m. Isto significa que é possível distinguir na imagem objetos do tamanho de 1 m².

A partir de 2002, imagens do satélite Quickbird que apresenta resolução gráfica de 0,61 m no modo pancromático e de 2,44m no modo multi-espectral estão também disponíveis no mercado.

A Figura 3 dos anexos mostra uma imagem de uma área residencial de Brasília obtida pelo Ikonos II e outra obtida pelo Quickbird na zona central de Aracaju. As imagens impressionam pela resolução e a nitidez de muitos objetos, mas elas não podem ser usadas diretamente para vetorização de feições.

Para aproveitar uma imagem satelital na criação ou atualização de mapas é necessário antes ortorretificar essas imagens, processo que nem sempre é completo. De fato, as empresas proprietárias dos satélites comercializam imagens sem tratamento, imagens georreferenciadas e ajustadas com pontos de controle e imagens com ortorretificação parcial que melhora substancialmente sua precisão cartográfica.



(a) Ikonos II (Brasília)



(b) Quickbird (Aracaju)

Figura 3 – Imagens de satélite

Tem outros problemas relativos à posição do satélite na hora da aquisição das imagens. Normalmente ele não está posicionado verticalmente sobre o local observado e essa inclinação magnifica as sombras.

No Brasil, o preço de uma imagem Ikonos sobreposta cor/preto com resolução de 1m, ortorretificada parcialmente sem DTM, beira atualmente os R\$ 200 por km². Uma imagem Quickbird, também ortorretificada, apresenta preço similar.

O processo de vetorização sobre imagens satelitais é similar ao utilizado sobre ortofotos. Na melhor das hipóteses, uma carta obtida de uma imagem Ikonos Precision ou Quickbird terá uma precisão próxima de 0,8mm que corresponde a aproximadamente 2m na escala 1:2.400 e que a classifica como carta classe B do PEC.

5.4 Levantamento com GPS

O Sistema de Posicionamento Global ou GPS revolucionou o levantamento de dados de campo na criação ou atualização de bases cartográficas. Enquanto a topografia convencional baseia-se na obtenção de medidas de ângulos e distâncias terrestres com componentes horizontais e verticais, havendo necessidade de intervisibilidade entre os pontos medidos, o GPS permite obter as coordenadas geodésicas de cada ponto independentemente de forma rápida, com precisão razoável e sem acumular erros.

O GPS é composto por 24 satélites distribuídos em 6 órbitas planas de forma que ao menos 4 deles sejam observados de qualquer lugar da superfície terrestre em qualquer momento. Estes satélites compõem o segmento espacial do sistema que se complementa com o segmento de controle formado por 5 estações terrestres e o segmento dos usuários cujos receptores GPS captam o sinal dos satélites e determinam as coordenadas do ponto onde se encontram.

O sistema é complexo e envolve erros propositais ou acidentais, correções, frequências e outros aspectos que não vem ao caso mencionar. O importante é que a partir dos sinais emitidos por 3 satélites informando sua posição exata no espaço, cálculos geométricos simples determinam a posição do receptor em coordenadas geodésicas. A leitura do sinal de um quarto satélite permite fazer um ajuste final dessa posição.

A leitura simples das coordenadas de um ponto a partir de 4 satélites conhece-se como posicionamento absoluto. Ele apresenta uma precisão planimétrica que varia de 3m a 100m em função do tipo de aparelho e do tipo de sinal recebido. Os erros que impedem uma maior precisão são provocados por ruídos no sinal, imprecisão das órbitas, falta de sincronização dos relógios, condições da ionosfera e da troposfera.

Para melhorar a precisão do posicionamento absoluto e torná-la sub-métrica realiza-se o chamado posicionamento relativo. Ele consiste numa correção diferencial das coordenadas do ponto lido idêntica à correção necessária na leitura de um ponto base com coordenadas conhecidas de antemão. Esta correção pode ser feita posteriormente (pós-processada) ou em tempo real.

Em alguns casos, como no sistema RTK ou *Real Time Kinematics* por exemplo, pode se atingir precisão milimétrica, desde que os pontos levantados se encontrem a pequena distância da base de coordenadas conhecidas.

Praticamente todos os receptores GPS permitem que na hora de ler as coordenadas dos pontos sejam coletados também atributos alfanuméricos associados a esse ponto.

A utilidade e facilidade de utilização de um GPS para localizar pontos não são mais questionadas. O que está em constante discussão são aspectos como a precisão das leituras realizadas com GPS e em função desta, seu campo de aplicação prática.

Também preocupa o uso indiscriminado de receptores GPS que não oferecem precisão compatível com a aplicação do trabalho.

Outro problema a ser considerado é a possibilidade de erros na leitura de pontos em áreas com árvores e prédios altos que podem gerar mudanças de direção e retardamento das ondas portadoras do sinal GPS. Esse tipo de erro não pode ser eliminado por correção diferencial pois suas causas não se repetem no ponto base.

Tem ocasiões em que é impossível realizar a leitura de pontos inacessíveis, próximos ou colados num prédio ou sob densa cobertura vegetal. Nesses casos tem que se recorrer à topografia convencional ou raio laser para coletar esse ponto remotamente, provavelmente com uma precisão menor que o resto do levantamento.

A produtividade de levantamentos com GPS irá depender do tipo e número de aparelhos receptores, da habilidade dos técnicos, da verticalização da área, da presença ou não de vegetação e sua densidade e do número e tipo de atributos a serem coletados em cada ponto levantado.

Pode-se estimar um rendimento de 50 a 400 pontos/dia por cada aparelho móvel, em função das características da área serem mais ou menos adversas e considerando os critérios acima indicados.

Para uma base cartográfica urbana, deve-se usar receptores de precisão topográfica ou geodésica e levantar todos os pontos necessários para identificar plenamente os objetos a serem vetorizados: quadras, arruamento, lotes, edificações, postes, árvores, etc.

O transporte dos pontos coletados para um CAD ou GIS é feito automaticamente pelo software que acompanha o receptor. Posteriormente devem ser digitalizados os elementos tipo linha, polígonos e textos que forem necessários.

5.5 Levantamento topográfico convencional

Um levantamento topográfico convencional consiste na leitura das coordenadas e cotas de pontos em campo utilizando aparelhos como nível eletrônico, teodolito ou, na melhor das hipóteses, estação total.

O levantamento dos pontos é feito a partir de pontos base ou estações que por sua vez se conectam através de poligonais. É necessário que os pontos sejam visíveis a partir da estação, o que

limita ou pelo menos complica o trabalho em áreas muito acidentadas, com vegetação densa ou com muitos prédios.

Embora alguns aparelhos topográficos apresentem precisão centimétrica, ou até milimétrica em distâncias curtas, o método já tem um erro embutido devido ao fato de não considerar a curvatura da superfície terrestre. Por outro lado, pela natureza do trabalho os erros se acumulam, pois passam de estação para estação e de cada estação para os pontos lidos a partir dela.

O principal obstáculo para utilizar topografia convencional em levantamentos urbanos com fins cartográficos está na baixa produtividade do método. Para torná-lo viável seria necessário utilizar várias frentes de trabalho simultaneamente o que implicaria em maiores custos e atentaria contra a homogeneidade e qualidade do serviço.

Já para levantamentos que visam a elaboração de projetos ou a execução de obras de engenharia que exijam média ou alta precisão como estradas, adutoras, gasodutos, oleodutos, linhas de transmissão, redes de água e esgoto, drenagem pluvial, a topografia convencional continua sendo o método ideal, em alguns casos sendo reforçada com observações solares ou medições geodésicas.

5.6 Solução adotada para Aracaju

No caso específico de Aracaju, fez-se opção pela elaboração de uma nova base cartográfica digital, em função das seguintes considerações sobre a base pré-existente:

- Oriunda de um recobrimento aéreo de 1979 e posterior restituição estéreo-fotogramétrica, a base apresentava-se incompleta e desatualizada.
- A base foi elaborada em coordenadas UTM, mas com DATUM Córrego Alegre.
- Mais de 40% do território, correspondente à Zona de Expansão Sul, não foi restituído.
- Pelo menos quatro versões incompatíveis da base cartográfica eram utilizadas por órgãos públicos municipais e por concessionárias de serviços básicos.
- As atualizações pontuais nas distintas versões da base, quase sempre foram realizadas sem nenhuma preocupação cartográfica, comprometendo ainda mais a sua precisão.

Após estudo das alternativas tecnológicas e levantamento de preços no mercado nacional, a solução adotada para Aracaju compreende os seguintes serviços e produtos, já contratados e em fase de conclusão:

- 1) Recobrimento aerofotogramétrico colorido de todo o município na escala 1:5000
- 2) Implantação de marcos conformando uma Rede de Referência Plani-altimétrica
- 3) Restituição estereo-fotogramétrica na escala 1:1000 dos seguintes elementos:
 - Sistema viário: definido por meio-fios, canteiros e/ou limites das pistas de rolamento em caminhos, trilhas, rodovias e estradas asfaltadas, pontes, viadutos, passarelas, ciclovias, ferrovia, escadas, rampas, acessos, pinguelas.
 - Quadras: definidas pelo alinhamento predial ou por cercas e muros na falta de edificações.
 - Hidrografia: incluindo rios perenes ou intermitentes, riachos, córregos, canais, valas, lagoas, açudes e represas, barragens, alagados, brejo e mangue.
 - Eixos de logradouros devidamente segmentados com nós nas suas interseções.
 - Curvas de nível equidistantes de 1m em 1m com curvas mestras a cada 5m.
 - Pontos cotados nas interseções e bifurcações de ruas, estradas, rodovias e caminhos, nas elevações (cumes) e depressões do terreno, nas pistas de aeroportos, passagens de nível, cabeceiras de pontes, rampas e passarelas, no nível d'água e nas margens de lagos, lagoas, canais e rios principais, e em regiões planas onde o afastamento das curvas de nível seja superior a 2 cm na escala da planta.
- 4) Ortofotocartas digitais coloridas na escala 1:1000.
- 5) Ortofotomosaico digital na escala 1:20.000.
- 6) Mapa temático oficial do Município de Aracaju.
- 7) Mapa Geoambiental de Aracaju.

Para incluir outras feições gráficas não previstas no contrato, como lotes e edificações, será feito um ajuste *on screen* em cima das ortofotos digitais coloridas.

A Figura 4 mostra uma das ortofotocartas que compõem a nova base cartográfica digital de Aracaju.

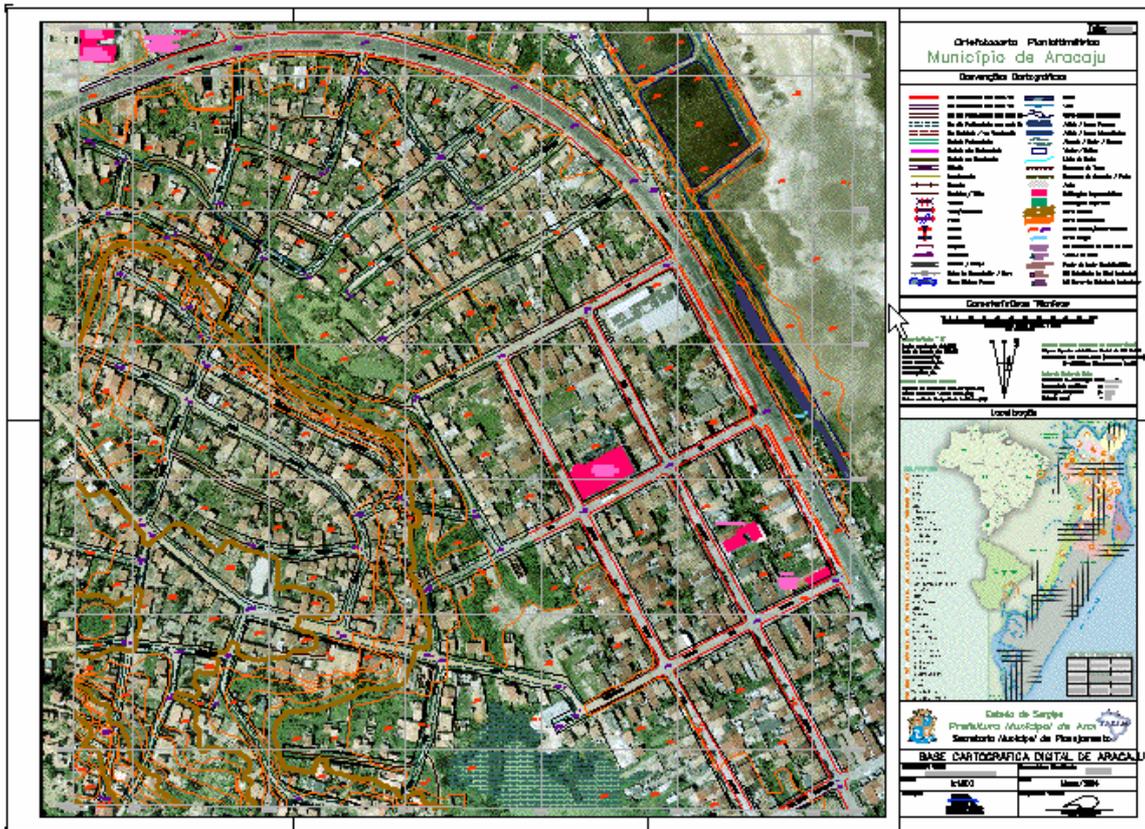


Figura 4 – Ortofotocarta digital de Aracaju

Com a nova base cartográfica e a partir dos outros produtos contratados será possível:

- Georreferenciar todas as informações municipais.
- Georreferenciar projetos urbanísticos públicos e privados.
- Ter pleno conhecimento da ocupação e uso do solo em todo o Município.
- Fornecer subsídios para o controle urbano.
- Integrar todas as informações relacionadas à infra-estrutura em cima de uma base comum.
- Atualizar e depurar o cadastro imobiliário e transformá-lo num cadastro multifinalitário.
- Diagnosticar áreas de sensibilidade ambiental e evitar ou deter sua degradação.
- Utilizar GPS para levantamento de imóveis, mobiliário e equipamento urbano.
- Atualizar constantemente a própria base cartográfica utilizando a Rede de Referência Plani-altimétrica, GPS e imagens de satélite.
- Divulgar informações e distribuir mapas precisos e atualizados.

VI – O ACERVO DE IMAGENS

No contexto do MDU, entende-se como acervo de imagens um conjunto de arquivos em formato matricial ou raster, georreferenciados ou não, que possam ser associados a um sistema de informações geográficas para complementar a visualização da base cartográfica, para facilitar a interpretação e atualização dos cadastros municipais ou simplesmente para agregar valor histórico ou turístico ao SIG municipal.

No caso de Aracaju, o acervo que está sendo montado prevê os seguintes elementos:

- Imagens do satélite Quickbird com resolução gráfica de 60cm, no formato tif.
- Fotografias aéreas em escala 1:5.000 nos formatos tif e jpg, obtidas para a elaboração da nova base cartográfica digital.
- Ortofotos digitais coloridas em escala 1:1.000 no formato geotif, obtidas durante a elaboração da nova base cartográfica digital.
- Fotografias digitais frontais de todos os imóveis da cidade, no formato jpg, vinculadas a cada lote.
- Fotografias panorâmicas de paisagens notáveis da cidade, no formato jpg, vinculadas aos pontos de visada.
- Fotografias antigas de pontos históricos, no formato jpg, vinculadas a um ponto no local fotografado.

Como as imagens de satélite e as ortofotos digitais coloridas são georreferenciadas, elas podem ser níveis ou *layers* do SIUG para serem apresentadas em conjunto com a base cartográfica digital ou com a localização de equipamentos urbanos. Já as fotografias aéreas podem ser vinculadas a retângulos invisíveis em cima de imagem contendo um foto-índice.

VII – CONCLUSÕES

- Mapear uma cidade não é apenas criar um mapa ou base cartográfica, mas associar nessa base a realidade física e sócio-econômica do município.
- O alto investimento na obtenção de uma base cartográfica digital só se justifica se ela for imediata e intensivamente explorada e se for garantida sua atualização permanente no futuro.

- A solução adotada para elaboração ou atualização da base cartográfica deve considerar o grau de precisão requerido, a disponibilidade de recursos ou fontes de financiamento e as possibilidades de manutenção e atualização dessa base.
- Deve-se tentar georreferenciar o maior número de informações de interesse da administração municipal e do cidadão descartando-se, porém, aquelas que apresentem pouca confiabilidade e as que não possam ser atualizadas.
- Sugere-se contratar com terceiros a obtenção da base cartográfica digital e a preparação inicial dos dados para seu uso em SIG. Sua atualização deve ser permanente e, preferencialmente, feita diretamente pelo Município.
- As soluções de software adotadas para atualizar a base cartográfica, para manter os bancos de dados e para o SIG municipal, devem ser robustas, porém simples; não podem se tornar obstáculos para a massificação do uso das informações municipais. Sofisticação pode significar elitização.
- Os dados, incluindo a base cartográfica, são muito mais importantes que o software ou o hardware no contexto de um SIG municipal.

ANEXO I

TABELA 1 – PROPOSTA DE NÍVEIS DE INFORMAÇÃO PARA O MDU DE ARACAJU
TABELA 2 – TEMAS SUGERIDOS A DIVERSOS ÓRGÃOS MUNICIPAIS DE ARACAJU

TABELA 1 -Proposta de um Modelo Digital Urbano para Aracaju

Tema	Subtema/Nível	Chave para Geocodificação	Rep.Gráfica	CTM	CSE	MUB	AI
Organização Territorial	Município	-	Polígonos			x	
	Bairros	Nome	Polígonos			x	
	Conjuntos/Loteamentos	Nome	Polígonos			x	
Divisão Administrativa	Distritos OP	Código ID	Polígonos			x	
	Núcleos Educação	Código ID	Polígonos			x	
	Regiões Saúde	Código ID	Polígonos			x	
Legislação Urbana	Macrozonas	Nome	Polígonos			x	
	Áreas de Diretrizes Especiais	Código ID	Polígonos			x	
	Zonas de uso do solo (1967)	Código ID	Polígonos			x	
	Áreas com restrição	Código ID	Polígonos			x	
Plani-altimetria	Curvas de nível	-	Polilinhas			x	
	Pontos cotados	-	Pontos			x	
	Vértices geodésicos - RN	Nome	Pontos			x	
	Vértices geodésicos - MR	Nome	Pontos			x	
Imagens/Fotografias Aéreas	Imagem de Satélite Quickbird	Código ID	Imagem				x
	Aerofotos (1:5.000)	Código ID	Imagem				x
	Ortofotos (1:1.000)	Código ID	Imagem			x	x
Meio ambiente	APAs	Nome	Polígonos			x	
	Praias	Nome	Polígonos			x	
	Dunas	-	Polígonos			x	
	Áreas de mangue	-	Polígonos			x	
	Áreas alagadas	-	Polígonos			x	
	Áreas alagáveis	-	Polígonos			x	
	Áreas de risco ambiental	-	Polígonos			x	
Cadastro Imobiliário	Unidades	DDSSQQQLLLLLUUUUU	-	x			
	Lotes	DDSSQQQLLLL	Polígonos	x		x	
	Quadras fiscais (alinh. predial)	DDSSQQQ	Polígonos	x		x	
	Distritos/Setores Fiscais	DDSS	Polígonos	x		x	
Cadastro Mobiliário	Negócios	DDSSQQQLLLLLUUUUU	Pontos	x			
Arruamento e Logradouros	Logradouros	Nome	-	x			
	Trechos de logradouros	DDSSQQQFS	Linhas			x	
	Cruzamentos	Código ID	Nós			x	
	Quadras meio-fio	-	Polígonos			x	
	Canteiros meio-fio	-	Polígonos			x	
	Caixas de rolamento	-	Polígonos			x	
	Pontes	Código ID	Polígonos			x	
	Pontilhões/Passarelas	Código ID	Polígono			x	

Tabela 1 - Proposta de um Modelo Digital Urbano para Aracaju (cont...)

Tema	Subtema/Nível	Chave para Geocodificação	Rep.Gráfica	CTM	CSE	MUB	AI
Macro drenagem Pluvial	Macrobacia de drenagem	Nome Rio	Polígonos			x	
	Rio	Nome	Polígonos			x	
	Riacho	Nome	Polígonos			x	
	Córrego	-	Polilinhas			x	
	Canal	Nome	Polilinhas			x	
	Vala	-	Polilinhas			x	
	Galeria	-	Polilinhas			x	
Assentamentos Precários	Áreas ocupadas	Nome	Polígonos		x		
	Unidades Habitacionais	DDSSQQQLLLL	Pontos		x		
Equipamento Urbano	Praças/Parques	DDSSQQQLLLL	Polígonos	x		x	
	Creches	DDSSQQQLLLL	Pontos	x		x	
	Centros Comunitários	DDSSQQQLLLL	Pontos	x		x	
	Unidades Municipais de Ensino	DDSSQQQLLLL	Pontos	x		x	
	Unidades Estaduais de Ensino	DDSSQQQLLLL	Pontos	x		x	
	Unidades Municipais de Saúde	DDSSQQQLLLL	Pontos	x		x	
	Unidades Estaduais de Saúde	DDSSQQQLLLL	Pontos	x		x	
	Unidades de Ensino Superior	DDSSQQQLLLL	Pontos	x		x	
	Lavanderia	DDSSQQQLLLL	Pontos	x		x	
	Cemitério	DDSSQQQLLLL	Pontos	x		x	
	Mercados	DDSSQQQLLLL	Pontos	x		x	
	Feiras livres	DDSSQQQLLLL	Pontos	x		x	
	Delegacias de Polícia	DDSSQQQLLLL	Pontos			x	
	Quadras esportivas	DDSSQQQLLLL	Pontos			x	
	Unidades Produtivas	DDSSQQQLLLL	Pontos	x		x	
	Outros Prédios Órgãos Públicos	DDSSQQQLLLL	Pontos	x		x	
Transporte	Ponto de Ônibus	Código ID	Pontos	x		x	
	Terminais de Integração	Nome	Pontos	x		x	
	Linha de Ônibus	Código ID	Polilinhas	x		x	
	Ponto de Taxi	Código	Pontos			x	
	Ciclovias	Nome	Polilinhas	x		x	
Dados Demográficos	Bairros IBGE	Nome	Polígonos		x		
	Setores Censitários 1996	Código ID	Polígonos		x		
	Setores Censitários 2000	Código ID	Polígonos		x		
	AEDS 2000	Código ID	Polígonos		x		
Divisão Eleitoral	Zonas Eleitorais	Código ID	Polígonos		x		
	Locais de votação	DDSSQQQLLLL	Pontos		x		
Cultura e Turismo	Teatros	DDSSQQQLLLL	Pontos			x	
	Galerias de Arte	DDSSQQQLLLL	Pontos			x	
	Cinemas	DDSSQQQLLLL	Pontos			x	
	Museus/Memoriais	DDSSQQQLLLL	Pontos			x	
	Monumentos	DDSSQQQLLLL	Pontos			x	x
	Biblioteca	DDSSQQQLLLL	Pontos			x	
	Pontos de Interesse Turístico	Nome	Pontos			x	x
	Fotografias Antigas	Código ID	Pontos			x	x
Outros Pontos de Referência	DDSSQQQLLLL	Pontos			x	x	

**TABELA 2 - SUGESTÃO DE OUTROS TEMAS PARA APLICATIVOS
EMURB (OBRAS PÚBLICAS)**

Obras	Obras públicas	Código ID	Pontos
	Obras particulares	DDSSQQQLLLL	Pontos
Microdrenagem pluvial	Sargetas ou linhas d'água	DDSSQQQLLLL	Pontos
	Bueiros	Código ID	Polilinhas
	Galerias	Código ID	Polilinhas
Redes de Concessionárias	DESO		Polilinhas
	ENERGIPE		Polilinhas
	SERGÁS		Polilinhas
	TELEMAR		Polilinhas

EMSURB (SERVIÇOS URBANOS)

Coleta de lixo	Pontos de lixo e entulho	Código ID	Pontos
	Pontos de coleta seletiva	Código ID	Pontos
Pontos de venda	Trailers	Código ID	Pontos
	Quiosques	Código ID	Pontos
Publicidade	Outdoors	Código ID	Pontos
	Placas	Código ID	Pontos
Paisagismo	Árvores	Código ID	Pontos
	Jardins e Canteiros	Código ID	Polígonos
Emplacamento de Ruas	Postes com placas	Código ID	Pontos
	Placas	Código ID	Pontos

SMTT (TRANSPORTE E TRÂNSITO)

Sinalização de trânsito	Vertical	Código ID	Pontos
	Horizontal	Código ID	Pontos
Controladores de trânsito	Quebra-molas	Código ID	Pontos
	Semáforos	Código ID	Pontos
Fiscalização eletrônica	Pardais	Código ID	Pontos
	Lombadas eletrônicas	Código ID	Pontos
Pontos críticos	Acidentes	Código ID	Pontos
	Congestionamentos	Código ID	Pontos

SEMED (EDUCAÇÃO)

Ensino Municipal	Alunos	DDSSQQQLLLL	Pontos
------------------	--------	-------------	--------

SMS (SAÚDE)

Cartão SUS	Cidadão	DDSSQQQLLLL	Pontos
PSF	Família	DDSSQQQLLLL	Pontos
Vigilância Sanitária	Distribuidores de alimentos	DDSSQQQLLLL	Pontos
	Farmácias e serviços de saúde	DDSSQQQLLLL	Pontos
Vigilância Epidemiológica	Casos	DDSSQQQLLLL	Pontos
Natalidade/Mortalidade	Nascimentos	DDSSQQQLLLL	Pontos
	Óbitos	DDSSQQQLLLL	Pontos
SAMU	Atendimentos	Código ID	Pontos