

A UTILIZAÇÃO DE SIG NO PLANEJAMENTO E GESTÃO DE BACIAS URBANAS

Sidnei Ono¹; Mario Thadeu Leme de Barros² & Guilherme Nunes Conrado³

RESUMO --- Este trabalho trata da utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como ferramenta de suporte para obtenção e análise de informações relevantes para estudos e projetos na área de Recursos Hídricos, detalhando, em particular, a bacia urbana. São apresentados alguns resultados obtidos no Plano de Bacia Urbana do Córrego Bananal, localizado na Região Metropolitana de São Paulo. O Plano estudou diferentes aspectos técnicos, dado o caráter multidisciplinar das questões envolvendo a água urbana. Foi dado destaque ao excesso de escoamento superficial, à degradação do solo em função do seu uso intenso e impróprio, à poluição difusa da água e ao déficit de obras de saneamento básico: abastecimento, esgoto e lixo doméstico. O produto final é um banco de dados, que possibilita ao usuário gerar mapas temáticos, gráficos e até mesmo animações. O software utilizado é o Esri ArcMap 8.3, podendo-se trabalhar com mapas de alta resolução, empregando-se escalas de até 1:2.000. Esse nível de escala é particularmente importante para pequenas bacias, caso do Córrego Bananal.

ABSTRACT--- This paper aims to present a Geographic Information System (GIS) application for planning and management studies at small urban catchments. The case study is the Bananal River Basin located at the City of São Paulo. The analyses are conducted considering the multi disciplinary aspects of the urban water problems. Some themes like urban floods, soil degradation, point and non point water pollution are point out. The GIS is a very important tool to generate maps and tables mainly for planning and design projects. The Bananal GIS was developed with the Esri ArcMap 8.3. It can generate very fine maps up 1:2000 scale ones. This scale is very important for small urban catchments studies like the Bananal Basin.

Palavras Chave: sistemas de informações geográficas, água urbana, plano de bacia

¹ Engenheiro Bolsista (Mestrando) da EPUSP, Depto. de Eng. Hidráulica e Sanitária; e-mail: sidnei.ono@poli.usp.br

² Professor Associado da EPUSP, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária; e-mail: mtbarros@usp.br

³ Engenheiro Bolsista do PHD/EPUSP, Depto. de Eng. Hidráulica e Sanitária; e-mail: gvconrado@terra.com.br

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o processo de urbanização é acompanhado por profundas alterações no uso e ocupação do solo, que resultam em impactos ambientais nas bacias hidrográficas. As transformações sofridas pelas bacias em fase de urbanização podem ocorrer muito rapidamente, gerando transformações na qualidade da água, na frequência de inundações e no transporte de sólidos.

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) constitui uma das referências mais conhecidas dos problemas advindos da urbanização intensa. A poluição das águas, as grandes cheias e o assoreamento são testemunhos de um processo de descontrole e modificação hidromorfológica, que tende a se ampliar à medida que a população migra para áreas anteriormente ocupadas pelas várzeas ou pelas matas. Gerenciar bacias hidrográficas urbanas exige, antes de qualquer coisa, que se tenha perfeito conhecimento das conseqüências da dinâmica da transformação urbana.

As técnicas convencionais, quando aplicadas para monitorar a expansão urbana e a ocupação de áreas de bacias hidrográficas, não têm conseguido acompanhar a velocidade com que o fenômeno se processa. Sendo assim, deve-se alertar para a necessidade da busca de novos métodos, empregando tecnologias mais adequadas, para detectar, em tempo real, a expansão urbana e as alterações ambientais decorrentes.

Um método eficiente para estudos ambientais é a sobreposição de mapas temáticos. Um mapa de qualidade consegue condensar diversas informações, em muitas situações ele é mais adequado do que tabelas estatísticas, pareceres técnicos e outros produtos necessários para dar suporte a decisões gerenciais.

Entretanto, mapas “analógicos” apresentam limitações, como, por exemplo, a dificuldade de atualização das informações nele contidas, tendo em vista a alteração dinâmica do espaço. O grande volume de informações, a demora na realização de tarefas monótonas (por exemplo, elaboração de cartas de declividade através de ábacos) e o concomitante desenvolvimento da ciência da computação contribuíram para o avanço nas técnicas de geoprocessamento. Assim, a cartografia digital e os sistemas de informações geográficas (SIGs) introduziram um avanço tecnológico na coleção e armazenamento de dados para inventários, monitoramento, análise e simulação ambientais. Os mapas temáticos, em formato digital, passaram a ser armazenados num SIG como uma série de camadas georreferenciadas, onde cada camada ou plano de informação contém os dados de um único atributo, ou seja, uma camada para tipo de solo, outra para rede de drenagem, etc. Um banco de dados alfanumérico complementa as informações espaciais que podem ser analisadas através de superposição de camadas, modelagem, análise de rede, entre outros.

PROJETO PLANO DE BACIA

O Projeto Plano de Bacia Urbana (Barros, 2005) adotou como estudo de caso o bacia do Córrego Bananal, parte da Bacia do Rio Cabuçu de Baixo. A escolha dessa bacia se deve ao fato dela caracterizar todos os problemas relativos à água urbana na Região Metropolitana de São Paulo.

O Córrego Bananal localiza-se à montante do rio Cabuçu de Baixo, afluente da margem direita do rio Tietê localizado na Zona Norte da cidade de São Paulo. A sua área de drenagem é de cerca de 13,61 km², com declividade média do talvegue de 0,033 m/m. A média anual de precipitação nesta bacia é 1.620 mm. É uma área em processo de urbanização, onde se encontra um grande número de favelas e ocupações irregulares. Além disso, a ocupação do espaço é extremamente densa, com altos índices de impermeabilização. A Figura 1 abaixo apresenta a localização da bacia.

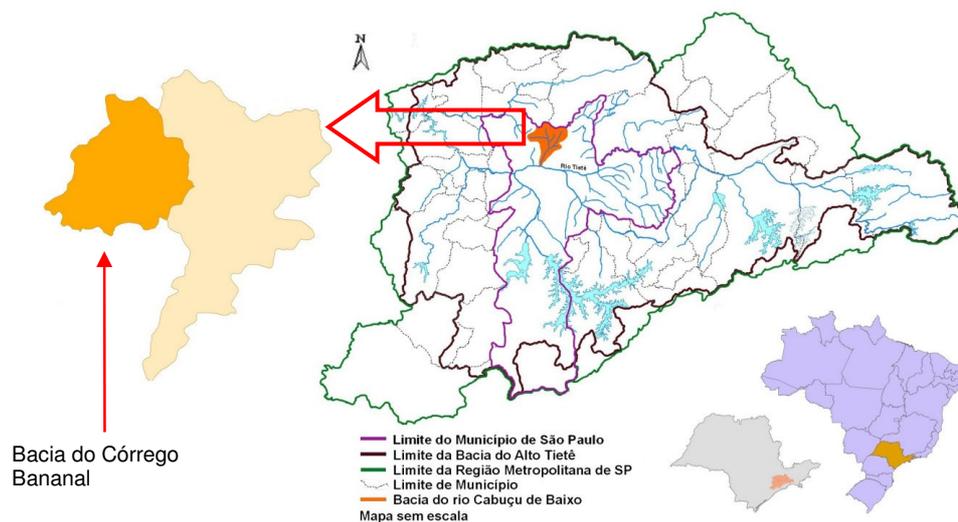


Figura 1 – Localização da Bacia do Córrego Bananal

O projeto trata do desenvolvimento de metodologias para direcionar um plano de bacia urbana, considerando diversos fatores como ocupação de solo, drenagem, infra-estrutura urbana, saneamento básico, habitação, saúde pública, aspectos legais e institucionais. Ou seja, a maioria dos temas relacionados à água urbana.

A proposta deste estudo foi exatamente diagnosticar a situação numa pequena bacia urbana, como é a Bacia do Córrego Bananal, elaborando um projeto piloto, propondo alternativas de intervenção, restauração e recuperação. Com base nos dados e informações disponíveis, foram estabelecidas um conjunto de estratégias e instrumentos de gestão urbana ambiental, com vistas a contribuir para o re-equilíbrio do sistema hidráulico e hidrológico bem como para a recuperação da quantidade e qualidade dos recursos hídricos.

ENTRADA E CONVERSÃO DE DADOS

Transferência da Base de Dados

A base de dados espacial foi organizada, a partir de diferentes fontes, buscando deixá-la o mais completa possível. Foram integrados dados levantados pela pesquisa “Gerenciamento Integrado de Bacias Hidrográficas em Áreas Urbanas” (Barros, 2004), projeto este, também realizado na bacia do rio Cabuçu de Baixo, além de dados provenientes de projetos executados pela Prefeitura Municipal de São Paulo.

Como os dados da pesquisa anterior estavam consolidados no software Spring 3.5 (Inpe, 1998), foi necessário convertê-los para emprego do software ArcView 8.3 (Esri, 2004), adotado para o Plano de Bacia do Bananal. Desse modo, os principais planos de informação do Cabuçu de Baixo foram transferidos para o Bananal, são eles:

- Limite geográfico da bacia hidrográfica (Figura 2);
- Curvas de nível com equidistância de 5 metros (Figura 2);
- Rede hidrográfica retificada e atualizada (Figura 2);
- Imagem de satélite Ikonos do ano 2000 adquiridas no modo CARTERRA GEO - Pancromática (PAN), com 1 metro de resolução espacial, e multiespectral (MSS), com 4 metros de resolução (Figura 2);
- Mapa temático de uso do solo (com 26 classes), que posteriormente foi reclassificado para 19 classes (Figura 3).

A seguir será descrito como foram obtidos os diversos Mapas Temáticos da Bacia Hidrográfica do Córrego do Bananal.

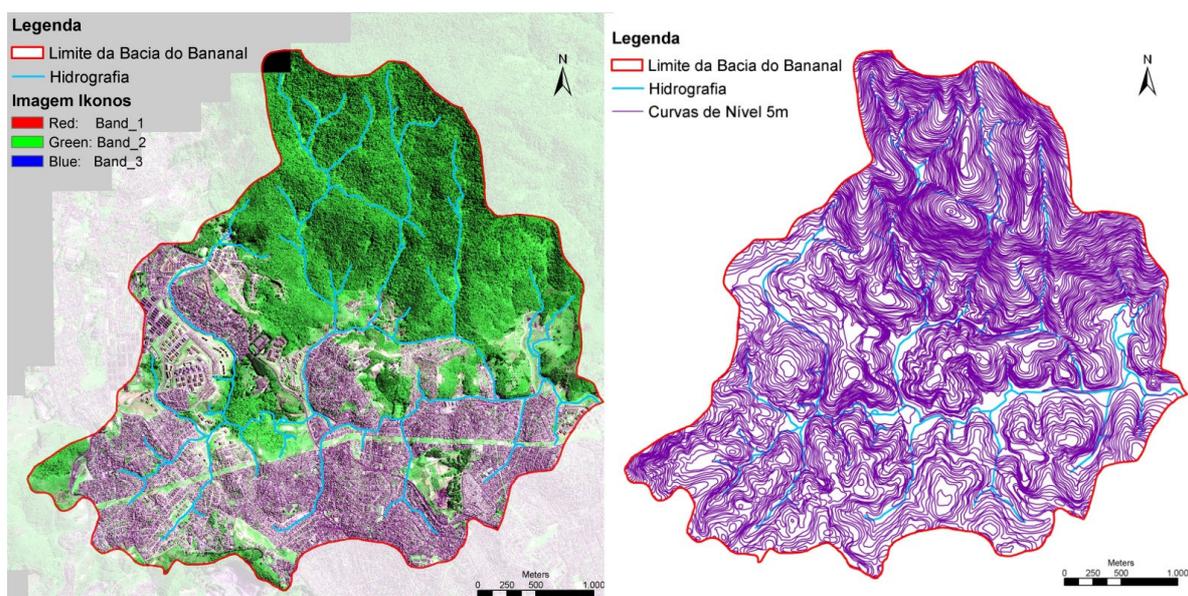


Figura 2 – Mapas com o limite da bacia, hidrografia, imagem Ikonos 2000 (à esquerda) e curvas de nível de 5 metros (à direita)

Uso do Solo

A partir de imagens orbitais Ikonos, foi utilizado o software Spring (Inpe, 2002). O mapa de ‘QUADRAS FISCAIS’ elaborado pela Empresa Metropolitana de São Paulo (EMPLASA), na escala 1:10.000 foi adotado como mapa de referência.

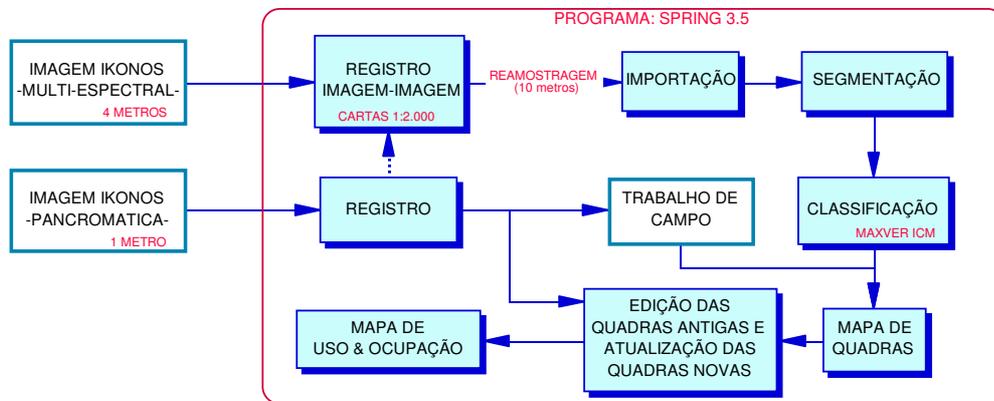


Figura 3 – Principais etapas envolvidas no processamento das imagens Ikonos no Spring

As imagens de satélite foram georreferenciadas e utilizadas da maneira descrita na figura 3, visando à identificação das formas atuais de uso e ocupação da terra na bacia: as pancromáticas foram utilizadas como ‘verdade de campo’ devido a sua elevada resolução espacial e, em função da melhor resolução espectral, as imagens MSS foram reamostradas de quatro para 10 metros quadrados com a finalidade de determinar as ‘modas’ de uso e ocupação, mostrando assim, as classes com áreas mais freqüentes em cada quadra.

Foi gerado um mapa de uso do solo com 26 classes para o rio Cabuçu de Baixo, todavia, para o rio Bananal, algumas classes foram excluídas por não estarem presentes na área de estudo ou por terem área muito pequena. Desse modo, foram definidas 19 classes de uso e ocupação do solo para o Bananal, descritas no relatório do “Plano de Bacias Urbanas” (Barros, 2005). A imagem obtida é apresentada na Figura 4.



Figura 4 – Mapa de Uso e Ocupação da bacia, contendo as classes de uso existentes

Inserção das novas bases de dados

A aquisição pelo projeto de uma versão do ArcView, o Esri ArcGIS 8.3 (2004), permitiu a criação de um único arquivo que consolidassem todos os planos de informação, pelo uso do *personal geodatabase*, que possibilita armazenar os dados em um banco de dados, compatível com o formato de banco de dados Microsoft Access (2000) .

O termo *geodatabase* é empregado para se referir a um formato de armazenamento, sendo nativo para todas as aplicações da família ArcGIS. Em cada *geodatabase* podemos armazenar diversos *Feature Class*, cada um armazenando feições espaciais simples (pontos, linhas ou polígonos) de um único tipo e seus atributos, que podem ser agrupados, desde que estejam no mesmo sistema de coordenadas, em *Feature Datasets*. O esquema está na figura 5.

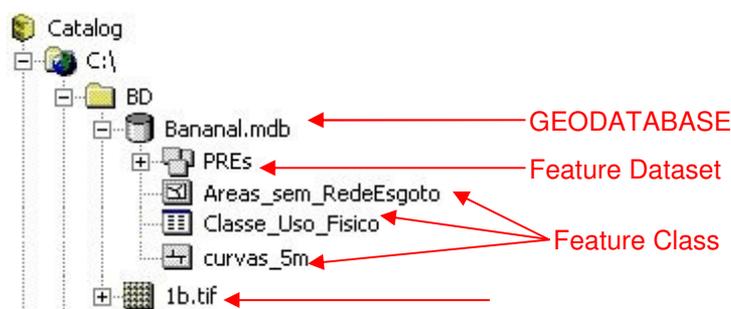


Figura 5 - Estrutura dos arquivos no ArcMap

O uso de um *geodatabase* nos permite efetuar rotinas de validação. Validação significa que feições geográficas podem ser criadas para permitir certos tipos de edição, visualização ou análise, dependendo das circunstâncias definidas pelo usuário. Podem ser de dois tipos: espaciais ou de atributos.

A validação espacial pode ser usada de duas maneiras: pela definição de regras topológicas ou de redes geométricas. Para utilização de ambas, precisamos definir um *Feature Dataset*, onde deverão estar as *Feature Class* que participarão da construção das regras. Uma mesma *Feature Class* não pode participar simultaneamente na construção de duas regras. Podemos dizer que a primeira aplica-se mais a feições como pontos e polígonos e a segunda, a feições lineares. Um exemplo de regra topológica é: dois polígonos, em um mesmo plano de informação, não podem ter partes sobrepostas, que pode ser aplicada a um plano de informações onde os polígonos representam lotes.

A validação de atributos pode ser de três tipos: subtipos, domínios e classes de relacionamento. Estes tipos são necessariamente utilizados com dados tabulares, sendo necessários para manutenção da integridade dos dados e eficiência durante operações de gerenciamento,

visualização e edição. Uma aplicação: quando sabemos a priori, para um determinado campo do plano de informações, quais os possíveis valores que o mesmo poderá ter ou quando queremos validar os dados de um campo (por exemplo, para um campo que representasse a altura de postes, cujos valores devem estar entre 1 e 3 metros, definiríamos um domínio para este campo como > 1 (maior do que 1) e ≤ 3 (menor ou igual a 3)).

Uma facilidade disponibilizada pelo ArcGIS é a possibilidade de importação de diversos formatos de arquivos, entre eles tabelas, desenhos (CAD) e *shapefiles* (versões anteriores do *software*).

Uma limitação ao formato de arquivos *geodatabase*, nesta versão do software é que o mesmo não suporta a inclusão de arquivos no formato *raster* (imagens e modelos digitais de elevação, entre outros). Sendo assim, os seguintes arquivos *raster* foram armazenados em outro diretório:

- Imagens de satélite Ikonos dos anos 2000 e 2002, adquiridas no modo CARTERRA GEO - Pancromática (PAN), com 1 metro de resolução espacial, e multiespectral (MSS), com 4 metros de resolução.
- 68 Fotografias Aéreas Digitais de 2003, escala do vôo 1:8000, adquiridas em meio analógico (filme aéreo) e posteriormente digitalizadas através de um scanner fotogramétrico. As imagens digitais foram padronizadas em RGB 24 bit com 900 dpi, gerando arquivos da ordem de 210 MB por imagem.
- Modelos digitais de elevação.

Com o suporte dos dados em formato *raster* referidas anteriormente, foram inseridas no banco de dados alguns planos de informação, entre os mais importantes o Modelo Digital de Terreno (MDT), Manchas de Inundação, Mapa de Declividade, Mapa de Uso Físico, Mapa de Vegetação, Mapa do Déficit de Saneamento e o Mapa de Geologia, que serão descritos a seguir.

Modelo Digital de Terreno (MDT)

A escolha dentre os diferentes métodos para aquisição do MDT levou em consideração fatores como o custo e o tempo e qualidade. Visando solucionar tal problema, optou-se em utilizar uma solução híbrida, baseada no processo de restituição fotogramétrica digital, recorrendo a processos manuais e automáticos para a criação e modelagem do relevo, remotamente, em ambiente virtual tridimensional. Detalhes em (Nóbrega et al.,2005).

No entanto, a escolha do método envolveu também a análise da forma com que as informações do terreno seriam representadas. Os modelos clássicos são a malha regular (GRID) e a malha de triângulos irregulares (TIN). O modelo GRID, por exemplo, apresenta grande facilidade de implementação e execução, todavia, não permite representar detalhes com dimensões inferiores ao espaçamento da malha. A adoção de uma malha densa pode comprometer o desempenho do

sistema e gerar redundância em regiões planas ou de declividade constante. O TIN, embora necessite de aplicativos mais sofisticados para execução, permite a representação do relevo em detalhes, pois permite adaptar a dimensão dos triângulos às irregularidades do terreno. Maiores detalhes podem ser vistos em American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (2004).

O modo interativo com que o MDT foi constituído, bem como a facilidade de adaptação do TIN às feições do terreno foram fatores limitantes na escolha do modelo adotado.

Para o desenvolvimento do modelo foram utilizados, além das fotoaéreas, 29 pontos de controle em campo, os quais foram definidos previamente em uma etapa de planejamento, avaliando estratégias de distribuição e de frequência em função da precisão requerida para as medidas tridimensionais ao longo do conjunto de imagens. Para o levantamento, utilizaram-se receptores GPS de padrão geodésico (portadora L1).

Foram adotadas feições já existentes no terreno, como sinalização de trânsito, calçada e muro como referência para as medidas. A alta resolução espacial das imagens foto aéreas e a pequena diferença de tempo entre as datas do voo e do levantamento em campo facilitaram o processo de identificação dessas feições em campo sem que houvesse o comprometimento da qualidade. O fluxograma na Figura 6 ilustra a seqüência das etapas envolvidas.

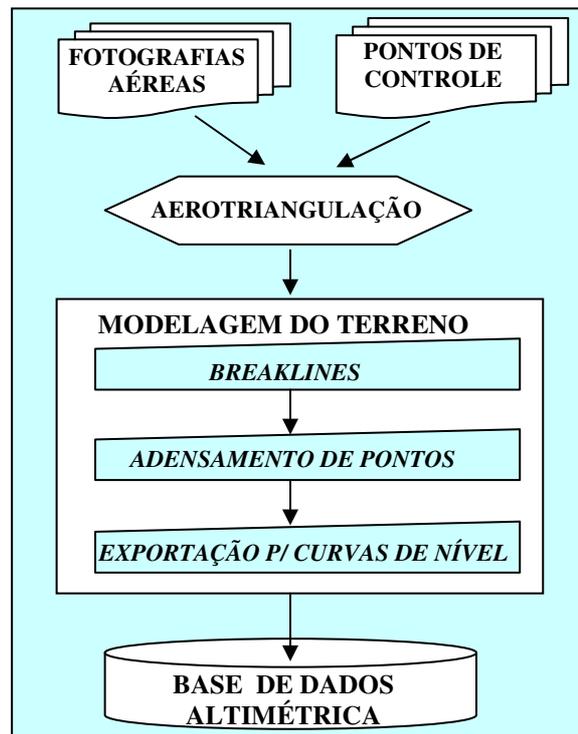


Figura 6 - Fluxograma das etapas envolvidas na modelagem digital do terreno.

A preparação das fotografias aéreas para visualização dos modelos estereoscópicos precisou de um processo denominada aerotriangulação, a qual envolveu a amarração das imagens (orientação relativa), utilizando pontos de ligação e, posteriormente, a amarração desse conjunto de imagens aos

pontos levantados em campo (pontos de controle). Ao final da aerotriangulação foi possível inferir a acurácia obtida para a medição das feições das imagens em 3D.

Uma vez aerotrianguladas as imagens, puderam-se utilizar recursos gráficos sobrepostos em um ambiente tridimensional. Inicialmente foram restituídas as principais feições que interferem na forma do relevo. Os vetores criados em primeira estância correspondem às linhas de quebra do terreno, denominados como *breaklines*. Embora fundamentais para o MDT, as *breaklines* apenas permitem reproduzir de forma aproximada o relevo.

Em uma segunda etapa, a modelagem do terreno foi desenvolvida através de um adensamento maior de pontos. Em geral, as regiões com pouca variação do terreno, ou com declividades constantes, necessitaram de um número menor de pontos de adensamento. Ao contrário, regiões de relevo mais acidentado foram as maiores candidatas a receber esses pontos. De forma análoga à restituição das *breaklines*, os pontos foram adicionados manualmente como vértices dos triângulos (Figura 7), através de visualização estereoscópica das imagens. Neste momento, foram sobrepostas as *breaklines*, as curvas de nível interpoladas e a malha TIN.



Figura 7 - Visualização das *breaklines* (linhas em vermelho)

A interpolação das curvas de nível, nesse caso, apenas forneceu um apoio visual ao operador. Para tanto, reduziu-se gradualmente o intervalo entre as curvas até atingir 1 metro, a fim de representar mais fielmente as feições naturais e artificiais do relevo. A cada ponto adicionado, as curvas eram recalculadas e, em tempo real, mostradas sobre o modelo estereoscópico. Assim, interativamente, o MDT foi constituído, apoiado sempre na análise visual do operador, até que toda a extensão da bacia fosse coberta.

Finalizada a construção do MDT, foi necessário sua exportação para que esse pudesse ser carregado nos modelos hidrológicos e hidrodinâmicos. Para tanto, optou-se por um arquivo vetorial contendo curvas de nível em formato DXF. Esse processo fora realizado em duas etapas, primeiramente um arquivo contendo toda a extensão da bacia com curvas de nível espaçadas a cada 5 metros. Em seguida, um segundo arquivo fora gerado, contendo curvas de nível espaçadas a cada

1 metro, limitadas às proximidades dos rios e suas várzeas, as quais deverão ser adotadas posteriormente para estudos mais detalhados das regiões de alagamento.

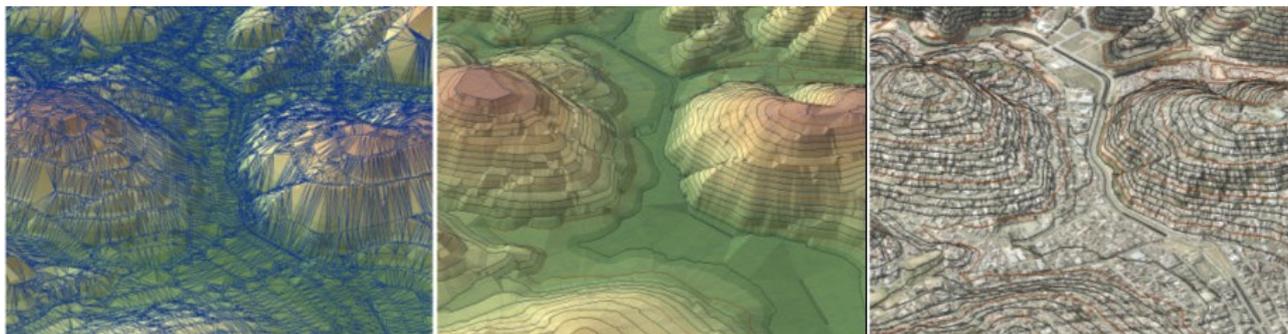


Figura 8 - Etapas utilizadas na construção do MDT. Esquerda MDT representado por TIN, ao centro o MDT suavizado e à direita a sobreposição com ortofoto em perspectiva.

Manchas de inundação

Para se determinar com maior precisão as áreas das superfícies de inundação foram desenvolvidos modelos hidrológico e hidráulico, baseado no Sistema de Suporte à Decisão desenvolvido para a bacia do rio Cabuçu de Baixo (Barros, 2004). Os estudos detalhados das cheias na bacia indicaram as áreas de inundação em função de períodos de retorno.

Os produtos gráficos das duas modelagens foram gerados em arquivos em formato CAD (*.dxf) georreferenciados. Para importá-los, foi utilizado o ArcCatalog, módulo do pacote ArcMap. Assim, são apresentadas na Figura 9 à esquerda as áreas de inundação para cada período de recorrência, considerando-se as condições atuais. Observa-se que mesmo com chuvas de dois (2) anos os danos são bem elevados. Para controle das cheias na região foram propostas melhorias no canal atual, ampliação e regularização de alguns trechos da calha, além de um novo reservatório de detenção no córrego Corumbé, logo a montante deste trecho. A Figura 9, à direita, apresenta as áreas de inundação após a construção dessas obras (canal e reservatório). A área que corresponde à inundação de 25 anos foi adotada para projeto de um parque linear neste trecho, cujos objetivos principais são a recuperação da mata ciliar anteriormente existente e o impedimento da ocupação indevida do local. Para implantação dessas obras será necessária a remoção dos diversos barracos existentes neste trecho, prevendo o reassentamento das famílias na própria bacia.

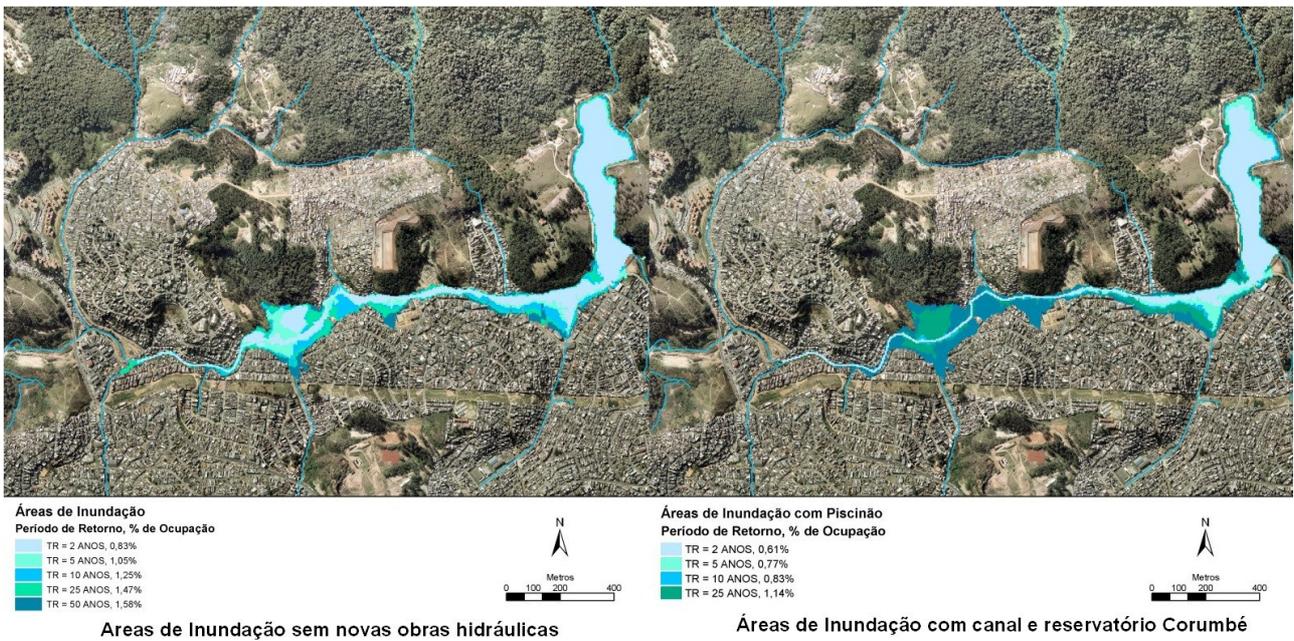


Figura 9 – Áreas de inundação no Bananal (com e sem obras hidráulicas)

Mapa de declividade

Outro grande problema na bacia do Bananal são as constantes ocorrências de escorregamentos de encostas. A Figura 10 apresenta o mapa de declividade da região, em que foram baseadas na classificação sugerida por Ross (1996), divididas nas seguintes categorias: 0 a 6% (muito fraca), 6 a 12% (fraca), 12 a 20% (média), 20 a 30% (forte) e acima de 30% (muito forte). Os dados espaciais foram obtidos pelo MDT referido anteriormente.

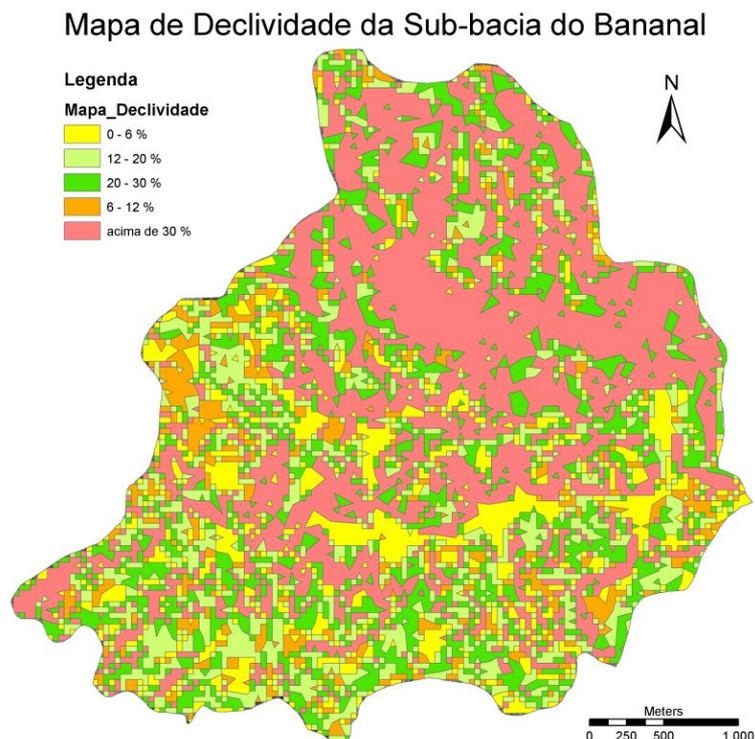


Figura 10 – Mapa de Declividades da Bacia do córrego Bananal

Mapa de Uso Físico

A partir da imagem de Fotografia Aérea Digital (Escala do vôo de 1:8000), foi feito um novo mapa de Uso Físico do Solo. Os procedimentos utilizados no trabalho de mapeamento foram desenvolvidos através de técnicas de fotointerpretação analógica (visual), aliadas a outras informações disponíveis sobre a área analisada. A Figura 11 mostra o mapa classificado em 4 classes: Ocupação Densa, Ocupação Não Densa, Áreas Expostas e Áreas com Vegetação.

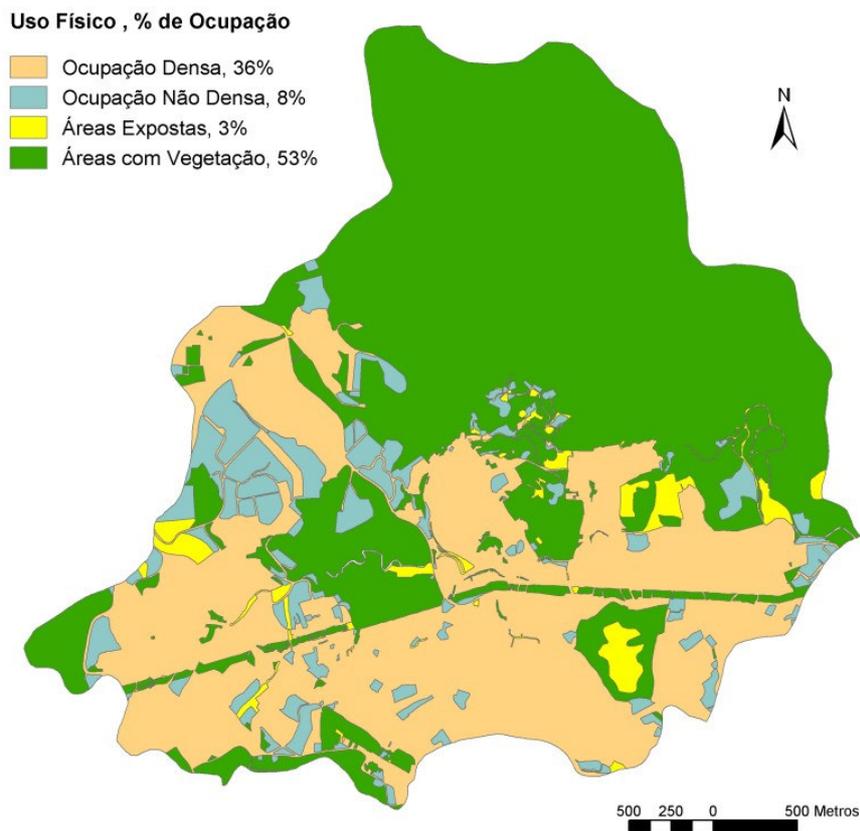


Figura 11 – Mapa de uso físico do solo

Mapa de Vegetação

A interpretação da vegetação foi feita pela sobreposição de acetato transparente, sobre a imagem de satélite Ikonos 2002. Foram adotados critérios de padrões representativos de cada categoria da legenda, de acordo com os conhecimentos prévios do fotointérprete, posteriormente aliados às informações coletadas em campo e dados secundários.

Para a definição de padrões de interpretação, os procedimentos metodológicos basearam-se na demarcação de zonas homogêneas a partir de elementos de tonalidade, cor, textura, padrão, forma e tamanho, associados a elementos do contexto como drenagem, relevo, outras informações obtidas por meio de dados secundários e, posteriormente, aos resultados das campanhas de campo.

Devido à escala e à extensão da área abrangida pelo trabalho, aos critérios estabelecidos para áreas mínimas e a variabilidade das formações vegetais, estabeleceu-se na padronização da metodologia de fotointerpretação, o uso de legendas compostas. Com essa denominação consideram-se as legendas que abrigam mais de uma categoria como, por exemplo, a ocorrência de manchas de formações secundárias em estágio pioneiro (SP) estabelecidas dentro de manchas maiores da classe formações em estágio médio (SM), nesse caso, a legenda será composta incluindo as duas categorias SM + SI e a primeira sigla apresentada será sempre a formação dominante.

Assim, o total de legendas identificadas, entre compostas e simples, foi de 29 categorias, estas se encontram espacializadas na Figura 12. De maneira que, os padrões fisionômicos e florísticos adotados para a classificação da vegetação em campo estão descritos abaixo:

- SP: Vegetação secundária pioneira;
- SI: Vegetação secundária em estágio inicial de regeneração;
- SM: Vegetação secundária em estágio médio de regeneração;
- SA: Vegetação secundária em estágio avançado de regeneração;
- ARBU: Arborização urbana;
- R: Reflorestamento;
- SE: Solo exposto;
- URB: Áreas urbanas.

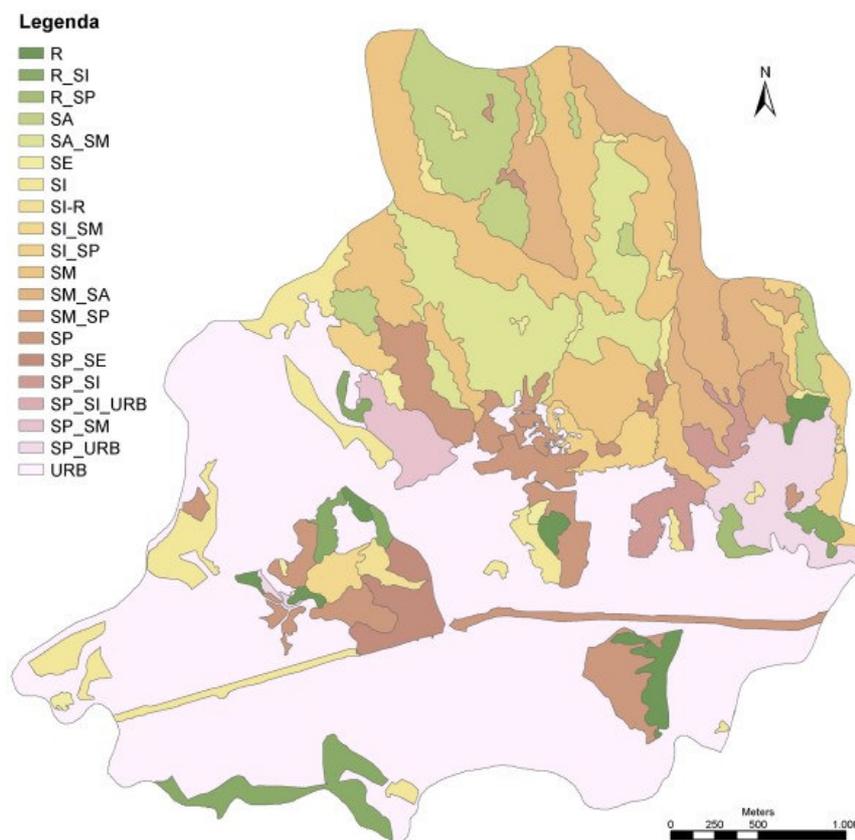


Figura 12 – Mapa de vegetação

Mapa de Deficiência de Saneamento Básico

Outro grande problema analisado no Bananal foi o saneamento básico. A rede de distribuição de água cobre boa parte da bacia, segundo dados oficiais praticamente 100% da população da bacia do Cabuçu de Baixo está sendo atendida. Todavia, na bacia do Bananal existe uma parcela da população nas áreas invadidas que não são atendidos pela rede pública de água. Segundo dados de 2000, a parcela da população atendida por rede de água no Bananal é de cerca de 82%.

A base em dados sobre a extensão física das redes de distribuição de água e de coleta de esgoto foram fornecidos pela Sabesp, em sistema CAD. Como este sistema não incorpora a possibilidade de realização de análises espaciais ou funções geográficas, foi necessário utilizar o módulo *ArcToolbox*, do pacote ArcMap, para conversão em dados espaciais (mapas vetoriais). Assim, foi possível montar um mapa indicando as regiões com deficiência de saneamento básico (água e esgoto), que é apresentado na Figura 13.

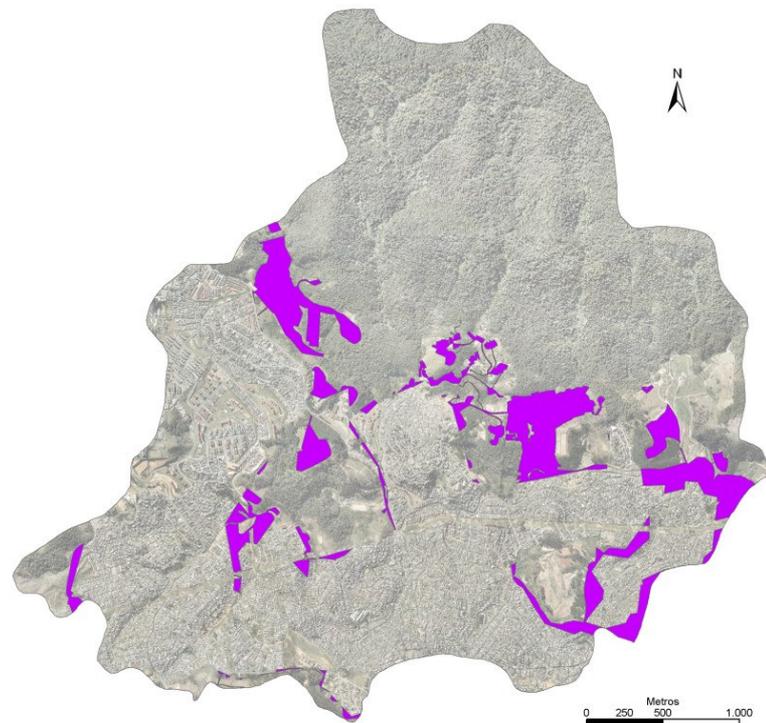


Figura 13 – Mapa da região com déficit em saneamento básico (água e esgoto)

Mapa de Geologia

Os principais problemas de caráter geológico-geotécnico que afetam a ocupação no município são os escorregamentos, inundações e a erosão. A ocorrência desses fenômenos está na conjugação de condicionantes naturais tais como tipos de rochas, de relevo, presença de descontinuidades (xistosidades, fraturas, falhas) com as formas de ocupação urbana (supressão de vegetação, aterramento das várzeas, modificação do perfil natural da encosta pela execução de corte-aterro lançado, impermeabilização do solo, entre outros). Cada uma destas unidades possui um

comportamento geológico-geotécnico diferente em função, exatamente, de sua composição. O mapa geológico (Figura 14), na realidade um mapa litológico, uma vez que apresenta somente contatos litológicos das unidades presentes na área foi extraído de Coutinho (1968), escala 1:100.000 e vetorizados para a área do projeto.

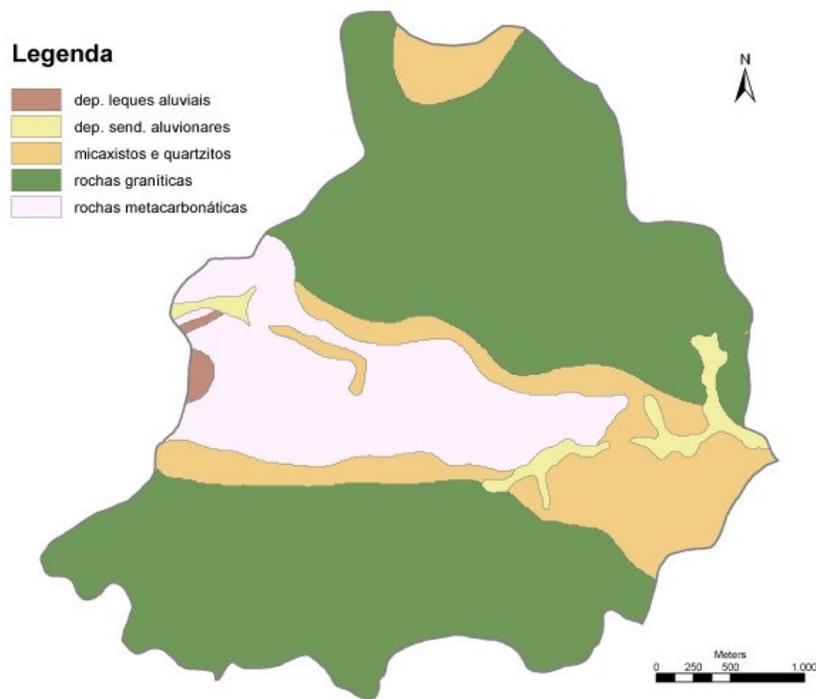


Figura 14 – Mapa geológico

Outros Dados

No banco de dados *geodatabase* foram incorporados, pelas regras de validação, os seguintes planos de informações:

- Eixos de logradouro e quadras fiscais, obtidos do programa SP Protege da Prefeitura do Município de São Paulo (2004);
- Áreas de favelas, divisão espacial dos distritos e das subprefeituras, obtidos do trabalho “*Base Cartográfica Digital das Favelas do Município de São Paulo*” (2000), desenvolvido pelo CEM (Centro de Estudos da Metrópole) e pela Secretaria Municipal da Habitação e Desenvolvimento Urbano, que precisaram ser convertidos para projeção UTM e datum Córrego Alegre, padrão dos demais dados deste projeto, uma vez que estavam em projeção geográfica (Lat-Long) e datum SAD69;
- Base de informações por setores censitários (Censo 2000), em projeção UTM *datum* Córrego Alegre, obtido junto ao IBGE, com informações sobre os responsáveis (chefes de família), população, habitação e nível de instrução;

PRINCIPAIS PRODUTOS

Os principais produtos foram obtidos partir da definição de critérios de aptidão e do estabelecimento zonas pela sobreposição de mapas temáticos, na qual os processos de planejamento / zoneamento sejam baseados na vocação intrínseca das terras. Entre eles: o Mapa Síntese do PRAP (Programa de Recuperação e Preservação Ambiental), Mapa do Parque Linear e o Mapa de Risco.

Mapa Síntese do PRAP

Para a elaboração do Mapa Síntese do PRAP (Figura 15), partiu-se de uma base cartográfica digital formada pelo mosaico de fotografias aéreas e a série de mapas referidas anteriormente (Pirillo, et al., 2005). Todos estes produtos cartográficos foram sobrepostos e trabalhados digitalmente no ArcMap. Para o delineamento da proposta foram sobrepostos os mapas: Mapa de Inundação, Mapa de rede de abastecimento de água, Mapa de Declividade, Mapa de Vegetação, Mapa da Hidrografia e o MDT.

Foram estabelecidos: a relocação da população em área de risco de inundação para tempo de retorno de 25 anos, a relocação da população situada em locais de alta declividade e sem rede de abastecimento de água, a criação de zonas de transição entre as áreas florestais e a malha urbana, a criação de áreas de adensamento populacional, a delimitação de faixas com diferentes intensidades de manutenção nos piscinões e a conexão das manchas verdes através de parques lineares.

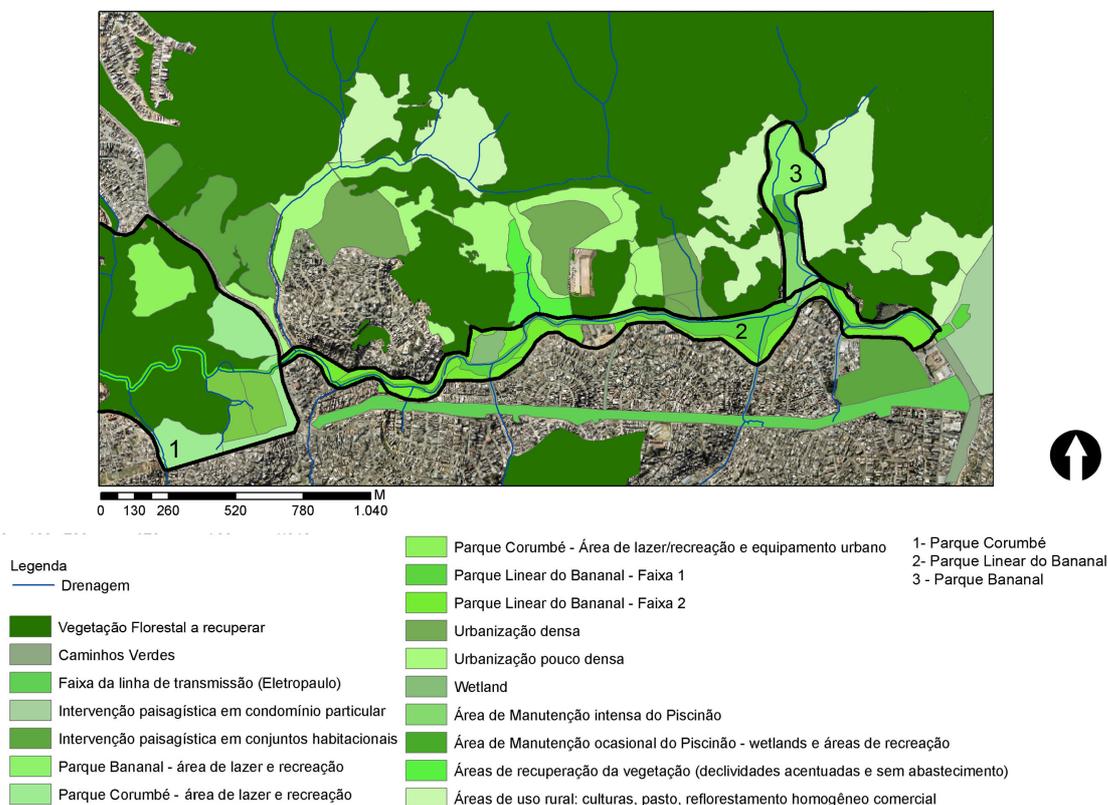


Figura 15 – Plano de Recuperação Ambiental e da Paisagem

Mapa do Parque Linear

O Parque Linear do Bananal (Figura 16) deverá ser produzido a partir da implantação de projetos de recuperação da vegetação ciliar, de maneira a se minimizar a perda das funções hidrológicas e ecológicas comprometidas com a retirada da vegetação e a ocupação urbana. Para criação do corredor verde, situado entre o piscinão do Bananal e o proposto a montante (Corumbé), será necessária a remoção e a relocação de uma parcela da população que habita as áreas marginais aos cursos d'água (por volta de 1600 pessoas). Pressupõe-se ainda a integração destas áreas com outras não ocupadas ao longo deste trecho do córrego e com as demais áreas lindeiras definidas pela cota de inundação de 25 anos. Na margem direita, nas quadras divididas por esta cota foi assumida a primeira rua acima desta cota como limite, conformando um desenho de borda da área urbana mais densa e central claramente identificável. Na margem esquerda, em áreas não ocupadas, foi assumida como limite a linha de inundação agregada das áreas de declividade superior a 30% e manchas de vegetação significativa (Pirillo et al., 2005).



Figura 16 - Parque Linear do Bananal, antes e depois

As áreas já ocupadas por construções dentro destes limites serão objeto de ações de relocação das funções de moradia e comércio para áreas próximas, com as subseqüentes etapas de demolição, com o tratamento, sempre que possível “in situ”, do entulho gerado e do material contaminado detectado; re-afeição topográfica e obras civis complementares. Ao término destas etapas será realizada a implantação do projeto de recuperação das matas ciliares, das *wetlands* e da vegetação ornamental.

Mapa de Risco

Com os mapas de inundação, declividade e déficit de saneamento, foi possível montar um Mapa de Risco para Água Urbana⁴ (Barros et al., 2005). Quando se fala em risco está se falando em probabilidade da ocorrência de um evento desfavorável, nos casos aqui tratados, os riscos foram estimados qualitativamente, com exceção dos riscos de inundação. Para elaboração do mapa admitiu-se uma escala de intensidade de risco em função do número de eventos a que uma determinada área está sujeita:

- Risco Amarelo: áreas onde pode ocorrer um dos três fatores de risco;
- Risco Vermelho: áreas onde pode ocorrer a combinação (dois a dois) dos três fatores de risco considerados;
- Risco Negro: Áreas que estão sujeitas aos três fatores (áreas mais críticas).

A figura 17 apresenta o resultado obtido, com as cores acima indicadas. As únicas áreas de risco negro estão localizadas logo a montante do reservatório Bananal, principalmente as áreas ocupadas por favelas naquele trecho, mais sujeitas ao remanso provocado pelo lago do reservatório.

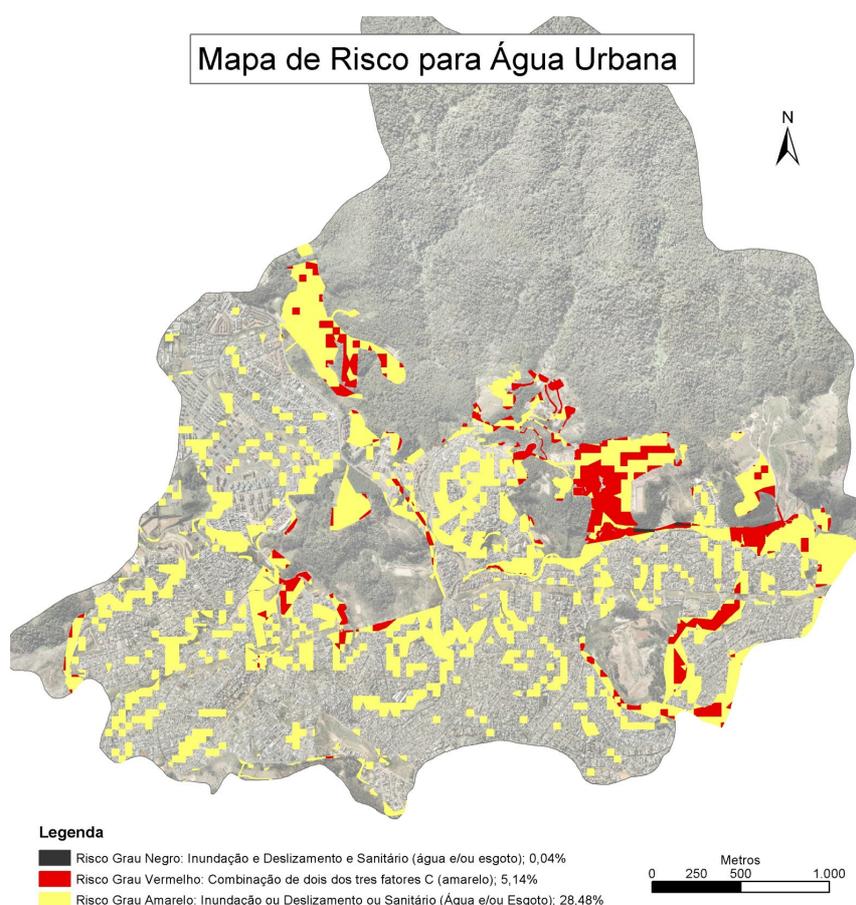


Figura 17 – Mapa de risco para água urbana da bacia do Bananal

⁴ podemos definir *risco para água urbana* como sendo a probabilidade que um indivíduo, ou uma população, tem de sofrer algum tipo de problema associado à água urbana.

COMENTÁRIOS FINAIS

Ao longo deste trabalho apresentou-se um banco de dados SIG para bacias urbanas, aplicado na bacia do Córrego Bananal. Foram citados alguns métodos de aquisição e conversão dos dados e seus principais produtos.

O modo como o ArcView auxilia no gerenciamento é, sem dúvida, muito eficiente, onde organizamos os planos de informações em um único arquivo, as imagens e modelos digitais de elevação no *geodatabase*. No entanto, havia o problema dos membros do projeto não compartilharem da mesma rede de dados e nem estarem fisicamente no mesmo local.

A solução encontrada foi centralizar a base de dados em um único computador remoto (num *geodatabase* central). Inicialmente foi instalado em todos os computadores a mesma base de dados. À medida que um usuário modificava a base, mandava um e-mail com o conteúdo da base modificada para o administrador do banco de dados central, que atualizava o *geodatabase* central. Desse modo, foi mantida uma versão do *geodatabase* atualizada por todos. Para atualizar os demais computadores, utilizou-se um programa que, a partir de vários arquivos, gera uma rotina para instalação dos mesmos, de forma a distribuir os dados por meio de CDs.

Desta forma, os usuários foram orientados para utilizar o banco de dados recebido como uma fonte de informações para efetuarem suas análises e passou-se a centralizar as atualizações de cada membro do projeto. Portanto, a não comunicação entre computadores foi superada, podendo-se manter um banco de dados atualizado para todos.

AGRADECIMENTOS

O presente estudo faz parte do Projeto Plano de Bacia Urbana elaborado pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP. Os autores gostariam de agradecer ao CT-HIDRO, CNPq e FINEP (Convênio 01.02.0297.00 – FUSP e FINEP) pelo apoio financeiro dado à essa pesquisa, bem como a todos os demais membros da equipe do projeto formada por professores da USP, pesquisadores, bolsistas, estagiários e técnicos.

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING. (2004) *Manual of Photogrammetry*, 5th ed. Bethesda. 1151p.

BARROS, M.T.L. (Org.). (2004) Gerenciamento Integrado de Bacias Hidrográficas em Áreas Urbanas - Sistema de Suporte ao Gerenciamento da Água Urbana - Estudo de Caso: Rio Cabucu de Baixo, Cidade de São Paulo. São Paulo: Escola Politécnica da USP e CNPq, (www.phd.poli.usp.br/cabucu).

BARROS, M.T.L. (Org.) (2005). *Plano de Bacia Urbana, Relatório Final*. CT-HIDRO, EPUSP/PHD, São Paulo (no prelo).

BARROS, M.T.L.; BRANDÃO, J.L.B.; ONO, S.; GUEDES, P.P. (2005). *Mapa de Risco para Água Urbana*, submetido ao XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, João Pessoa.

ESRI (2004) *Manual do ArcGis versão 8.3*

IBGE (2000) *Censo Demográfico do ano 2000*, Base de informações por setores censitários

INPE (2002) *Manual do Spring versão 3.6.02*

NÓBREGA, R.A.A.; QUINTANILHA, J.A.; BARROS, M.T.L. (2004). *Emprego de Técnicas Digitais para a Concepção da Base Cartográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Cabuçu de Baixo*, submetido à Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH), ABRH, Porto Alegre.

ONO, S; QUINTANILHA, J.A; FONSECA JR., E.S.; IWAI, O. (2000). *Programa de incentivo à produção de material didático, SIG / GPS / Cartografia e Sensoriamento Remoto*, São Paulo, Escola Politécnica da USP, (<http://www.ptr.usp.br>)

PIRILLO, F.C., BARROS, M.T.L.; PELLEGRINO, P.R.N.; GUEDES, P.P.; ONO, S. (2005). *Plano de Recuperação Ambiental e da Paisagem para Pequenas Bacias Urbanas*, submetido ao XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, João Pessoa.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO (2004), *São Paulo Protege*, <http://www.prefeitura.sp.gov.br>.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO (2000), *Base Cartográfica Digital das Favelas do Município de São Paulo*”, Centro de Estudos da Metrópole, Secretaria Municipal da Habitação e Desenvolvimento Urbano.

SHAMSI, U.M. (2002) *GIS Tools for Water, Wastewater, and Stormwater Systems*; ASCE Press.