

PREVISÃO DE ÁREAS INUNDADAS NA CIDADE DE PIRACICABA (SP) ATRAVÉS DE SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

**Ferraz, F. F., Ferraz, E. S., Ballester, M. V. R., Moraes, J.,
Victoria, R. L. e Martinelli, L. A.**

*Centro de Energia Nuclear na Agricultura - USP
Av. Centenário, 303 CEP 13416-000 Piracicaba, SP*

RESUMO

O objetivo central desse trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia para determinação de áreas sujeitas à inundação, que seja acessível à prefeituras e órgãos de Defesa Civil através do uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

A combinação de dados hidrológicos e topográficos através de um SIG, permitindo a incorporação simultânea de aspectos espaciais e temporais na análise do regime de inundações, possibilitou a caracterização destes eventos de maneira rápida na cidade de Piracicaba. A metodologia utilizada nesse trabalho é simples e pode ser aplicada em outras áreas sujeitas à inundação, de modo a obter informações detalhadas e precisas que podem auxiliar no entendimento e planejamento da ocupação dessas regiões.

INTRODUÇÃO

A partir da década de 70, as cidades brasileiras, especialmente as do centro-sul do país, tiveram um crescimento muito elevado em virtude da industrialização, ocasionando fortes correntes migratórias internas e a transferência de parte da população rural para os centros urbanos (São Paulo, 1993). As populações de baixa renda, atraídas pela ilusão da oferta de melhores empregos, passaram a ocupar e construir moradias precárias em áreas de alto risco, por serem de baixo valor, como várzeas, encostas de morros, aterros sanitários, brejos e alagados, como é o caso da região metropolitana de São Paulo e outros núcleos urbanos (São Paulo, 1990). Um dos problemas decorrentes dessa ocupação desordenada dos solos é a inundação das áreas baixas no período chuvoso. Esse fato ocorre anualmente, porém com intensidades e consequências diferentes em virtude da periodicidade dos fenômenos climáticos e das providências tomadas pelo poder público. Enquanto que eventos desse tipo são comuns, os estudos relativos à determinação de áreas sujeitas à inundação são

raros. Conhecendo-se variáveis hidrológicas básicas e com elas se construindo modelos probabilísticos é possível alertar as autoridades para que possam planejar, de forma adequada, o uso e ocupação do solo das áreas críticas, evitando assim maiores catástrofes e gastos públicos desnecessários.

O objetivo central desse trabalho é o desenvolvimento de uma metodologia para determinação de áreas sujeitas à inundação, que seja acessível à prefeituras e órgãos de defesa civil através do uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Como exemplo, essa metodologia foi aplicada às áreas inundáveis da cidade de Piracicaba, culminando com um mapa de zoneamento de enchentes para a cidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo

O estudo foi realizado na área urbana da cidade de Piracicaba/SP ($22^{\circ} 43' S$; $47^{\circ} 39' W$), próximo ao exutório da bacia do rio Piracicaba com uma área de contribuição a montante de 8850 km^2 . Esta está localizada em uma das regiões mais ricas e urbanizadas do país, dotada de características econômicas diversas, as quais podem ser divididas em três grupos: agro-indústria, área canavieira local e o entorno industrial metropolitano. A população cresceu à taxa de 3,2% ao ano na década de 70 e 2,8% na década de 80 (Fundação IBGE, 1993), refletindo a tendência de todo o Estado. A população rural que em 1940 representava mais de 54% do total, em 1991 era menos de 5%. Em virtude do acelerado crescimento econômico e populacional, vários problemas surgiram, sendo os principais o aumento da demanda d'água para uso industrial, agrícola e doméstico, bem como o aumento da carga orgânica dos esgotos domésticos e afluentes industriais (São Paulo, 1994). A cidade teve, até 1960, um crescimento uniforme, em torno do centro histórico e comercial. A partir da década de 70, com o surgimento de loteamentos mais

afastados, a mancha urbana teve crescimento em áreas mais distantes do centro, criando vazios urbanos. Esses loteamentos surgiram em todas as regiões da cidade, mas se concentraram, principalmente, nas regiões Noroeste e Sudeste, que se tornaram a partir da década de 80, os dois principais vetores de crescimento da cidade (Piracicaba, 1991).

Da mesma forma, as cidades de médio porte a montante de Piracicaba também sofreram grande expansão de sua área urbana, acarretando inclusive processos de conurbação e mudanças no uso da terra. As ondas de cheia que ocorrem na cidade de Piracicaba são portanto resultado da integração dos processos naturais associados às ações antrópicas de toda a bacia de drenagem a montante.

Para se observar os efeitos da onda de cheia na zona urbana da cidade, foi escolhida uma área urbana de 16 km² com o maior histórico de cheias, situada entre os paralelos 22°42'30" S e 22°45' S e os meridianos 47°41' W e 47°39' W, de modo a incluir a região urbana mais atingida pelas inundações (Figura 1). Esta região possui duas características básicas importantes: ocorrência de inundações em centro urbano e disponibilidade de dados históricos sobre a área atingida.

Determinação do modelo de inundaçāo

Para determinar a ocorrência, amplitude, freqüência e duração dos transbordamentos laterais em um sistema rio-planície de inundaçāo é inicialmente necessário conhecer o tamanho e a topografia da planície, a rede de drenagem, bem como as descargas mínimas e máximas no canal principal suficientes para a inundaçāo de cada cota altimétrica. Com estas informações, é possível estabelecer uma relação matemática entre a vazão observada do rio e a área inundada a cada transbordamento, isto é, a cota altimétrica alcançada pelas águas do rio em função do seu nível.

Os dados relativos à topografia, hidrografia e urbanização, foram obtidos a partir da carta da cidade de Piracicaba do Plano Cartográfico do Estado de São Paulo do Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGCE, 1979) articulação SF-23-Y-A-IV-2-SO-F (escala 1:10.000), a qual apresenta as curvas de nível com resolução vertical de 5 metros, a rede de drenagem e o arruamento. Os dados de vazão máxima diária do rio Piracicaba, no período entre 1930 e 1979 medidas no posto fluiométrico código 62707000, situado à latitude 22°42'54" S e longitude

47°39'36" W foram fornecidos pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE). No período entre 1980 e 1994 foram medidos no posto fluiométrico 62705000, situado à latitude 22°41' S e longitude 47°40' W, e fornecidos pela Centrais Elétricas de São Paulo (CESP), sendo ambos utilizados para o cálculo dos períodos de recorrência das inundações. Para estudo da equação de inundaçāo, obtiveram-se dados horários do mesmo posto entre os meses de fevereiro e abril de 1995.

Observações de campo ($n = 7$) em encheres ocorridas entre janeiro e abril de 1995 sobre os pontos da cidade de Piracicaba atingidos pelo extravasamento do canal principal no mesmo período foram fornecidos pela Comissão de Defesa Civil da cidade (CDCP) e se constituem da altitude atingida pela inundaçāo e a vazão do rio no mesmo instante.

Informações adicionais sobre a ocupação do solo urbano foram obtidas através da interpretação visual de fotografias aéreas de janeiro de 1995 e de uma imagem do satélite SPOT (modo panchromático, resolução 10 m x 10 m, órbita K-J 714 - 395) de 5 de abril de 1989, obtida junto ao banco de dados do Projeto PiraCena.

O Sistema de Informações Geográficas e processamento de imagens IDRISI (versões DOS 4.1 e Windows 1.0), desenvolvido pela Faculdade de Geografia da Universidade de Clark (Eastman, 1992a e b; Eastman, 1995), foi utilizado para a aquisição, armazenamento, análise e apresentação dos dados georeferenciados. Baseado em uma estrutura do tipo grade, o SIG-IDRISI é um sistema modular, que consiste de dois elementos básicos: (a) um banco de dados espacial, o qual descreve a geografia das características da superfície terrestre e (b) um de atributos, que descreve as características ou qualidades das mesmas. Estas propriedades permitem a manipulação e análise dos dados espacialmente distribuídos (Eastman, 1992a, b). Uma vez no formato digital, os planos de informação foram convertidos para o formato em grade e projetados no sistema Universal Transversal de Mercator (UTM), sendo a unidade de medida básica adotada o metro (m). O modelo digital de elevação do terreno, que representa a variação contínua do relevo no espaço sobre uma superfície bidimensional, foi obtido a partir da interpolação linear das linhas cotadas da área de estudo, produzindo um modelo facetado. A imagem assim obtida, foi filtrada com o uso da opção para filtro de média, que atribui para cada célula da imagem a média das células em torno dele.

Uma equação chamada de equação de inundaçāo foi determinada a partir de uma análise

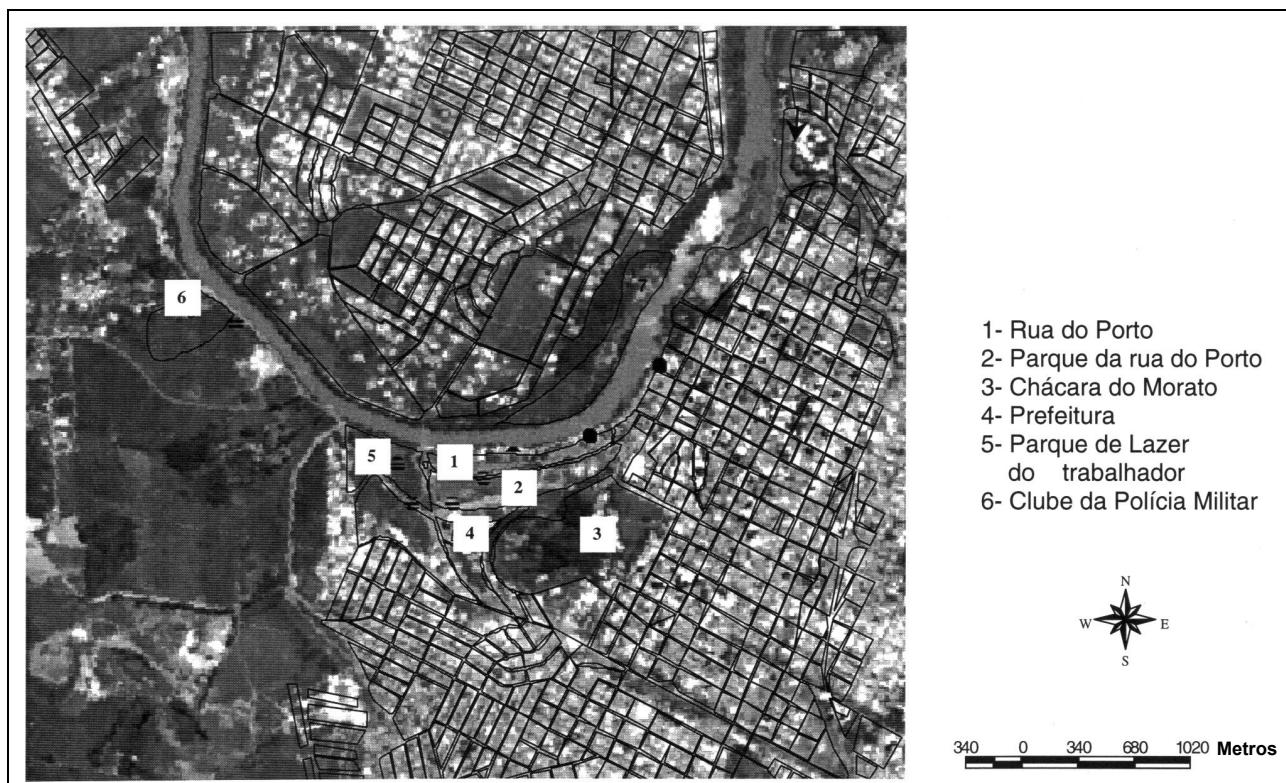


Figura 1. Área urbana da cidade de Piracicaba mais atingida pelas inundações em imagem SPOT de 1989.

de regressão linear entre os dados fornecidos pela CDCP de vazão do rio e a altitude atingida pela água nesse mesmo instante.

Essa equação nos permite calcular a vazão do rio Piracicaba necessária para a água atingir uma altitude qualquer na bacia de inundação da área de estudo.

Esta equação foi então aplicada no modelo numérico do terreno, através dos operadores aritméticos do SIG, de modo a obter um modelo digital de vazões (MDV), ou seja, uma imagem que fornece a vazão do rio Piracicaba necessária para a que água atinja um ponto qualquer na área de estudo. Nela, cada célula tem o valor da descarga (em $m^3 s^{-1}$) que o rio deve ter para atingir o ponto correspondente. A integração da área atingida por uma certa vazão do rio menor ou igual a um dado valor, possibilitou a determinação da área.

O período de recorrência de uma enchente é o tempo médio em anos em que essa enchente é igualada ou superada pelo menos uma vez (Swami e Mattos, 1975). O método para a determinação de períodos de recorrência consiste essencialmente, em analisar uma série de dados de vazões máximas anuais e ajustá-la à uma distribuição probabilística. Neste estudo, o estabelecimento da maior enchente provável baseou-se na análise das

máximas medidas de descarga em série histórica com 66 anos de vazões diárias obtidas dos postos fluviométricos situados dentro da área de estudo (Dunne e Leopold, 1978). Para o cálculo do período de recorrência das inundações utilizaram-se as maiores vazões diárias de cada ano observada entre 1930 e 1995, mostradas na Tabela 1.

As principais distribuições de probabilidade que se adaptam à análise de eventos extremos citados na literatura para cálculo de período de recorrência, são: "Log normal", Pearson tipo III e Gumbel (Swami e Mattos, 1975; Tucci, 1993). Como os resultados obtidos são semelhantes (Dunne e Leopold, 1978), utilizou-se a distribuição de Gumbel para ajuste de distribuição dos valores extremos, sendo os cálculos realizados para períodos de recorrência de 5, 10, 25, 50 e 100 anos. Estes foram estabelecidos de forma a não serem muito pequenos ou maiores que a série histórica, pois o grau de incerteza inerente ao método torna-se grande nesses casos extremos. Toda estimativa tem um certo grau de incerteza, que depende da diferença entre os parâmetros da população e da amostra utilizada. O cálculo do período de recorrência de uma enchente também pode incorrer em erro, estimando-se o valor acima ou abaixo do real. Assume-se que o erro esteja distribuído normal-

Tabela 1. Máximas vazões anuais do rio Piracicaba, registradas nos postos fluviométricos código 62707000 (1930 - 1979) e 62705000 (1979 - 1995). Fonte: DAEE e CESP).

ANO	$m^3 s^{-1}$								
1930	551	1944	330	1958	706	1972	318	1986	351
1931	710	1945	382	1959	353	1973	268	1987	503
1932	532	1946	492	1960	832	1974	347	1988	632
1933	305	1947	715	1961	484	1975	396	1989	528
1934	670	1948	568	1962	494	1976	446	1990	689
1935	497	1949	327	1963	535	1977	450	1991	792
1936	446	1950	454	1964	691	1978	204	1992	361
1937	467	1951	535	1965	810	1979	298	1993	409
1938	340	1952	433	1966	592	1980	367	1994	508
1939	453	1953	186	1967	519	1981	494	1995	758
1940	750	1954	370	1968	359	1982	504		
1941	353	1955	300	1969	256	1983	1051		
1942	406	1956	266	1970	1176	1984	421		
1943	433	1957	654	1971	199	1985	589		

mente ao redor da média da curva de freqüência de inundação e estabelece-se um intervalo no qual existe uma alta probabilidade do valor estimado se encontrar. Assim, para uma vazão com determinado período de recorrência, pode-se estimar os limites superior e inferior entre os quais a vazão estimada permanecerá com um certo grau de confiabilidade, chamado nível de significância (Tucci, 1993). O método de Beard (1962) permite a construção de bandas, entre as quais estão 90% das inundações para um certo período de retorno (Dunne E Leopold, 1978). Os coeficientes utilizados foram os de Beard (1962) para vários níveis de confiança, os quais foram multiplicados pelo desvio padrão dos dados e adicionados ou subtraídos das descargas no gráfico de freqüência de inundação para vários períodos de retorno.

Considera-se a extensão de uma inundação a área coberta pela água, excetuando-se a já ocupada pelo leito habitual do rio. A aplicação do modelo digital de vazões (MDV) às vazões obtidas para os períodos de recorrência-arbitrados no modelo possibilitou a obtenção de uma imagem com a área inundada para cada um dos períodos, a partir da qual foram calculadas as áreas atingidas em cada evento. As imagens assim obtidas foram convertidas para o formato vetorial e sobrepostas na imagem do satélite SPOT e do arruamento, permitindo a previsão das inundações em nível de quadras.

A amplitude da inundação, considerada como o número de dias de enchente em cada evento e a freqüência como o número de dias de inundação por mês do ano, foram totalizadas para o período estudado.

Análise de tendência dos dados de vazão

Para verificar a existência de possíveis tendências ou mudanças bruscas nas médias, foi realizada uma análise estatística exploratória com os dados de vazão máxima. Através dessa análise é possível detectar-se supostas variações, devido à efeitos naturais ou antrópicos, como mudanças nos parâmetros do ciclo hidrológico, urbanização, mudanças no uso da terra, etc. Para tal, foram utilizados dois testes estatísticos não paramétricos. O teste de Pettit (1979) permite que se detecte a ocorrência de mudança brusca na média dos dados de vazão, calculando-se o nível de significância estatística sem conhecer previamente o ponto do tempo onde ela ocorre (Pellegrino, 1996). O teste seqüencial de Mann-Kendall é um teste não paramétrico que baseia-se na hipótese de que se a série for estável, a sucessão de valores deve ser independente e a distribuição de probabilidades deve permanecer sempre a mesma (Goossens e Berger, 1986).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Freqüência, amplitude e extensão das inundações

Para obter um quadro mais completo sobre os eventos de inundação na área de estudo, além da previsão das áreas a serem inundadas, é im-

portante se conhecer as principais características dos eventos ocorridos no passado, como a sua freqüência, amplitude e extensão. Estas características, são funções dependentes, principalmente, do tamanho da bacia de drenagem do rio e da intensidade e duração da estação chuvosa (Lugo et al, 1990).

Como pode ser observado na Figura 2, o regime de precipitação da área de estudo determina a ocorrência de dois períodos distintos: um chuvoso abrangendo os meses de novembro a abril, e outro seco, de maio a outubro. Os meses do período úmido são também os que mais registram casos de inundação, conforme esperado. A partir do mês de novembro, ocorre o aumento progressivo da umidade do solo, que ao atingir a saturação aumenta o volume d'água escoado superficialmente, assim como a sua velocidade.

Os padrões de distribuição temporal e espacial dos eventos de inundação tiveram um comportamento inter anual variável durante o período estudado (1930 a 1995), com transbordamentos mais freqüentes e com maiores amplitudes e extensão durante o período chuvoso. Analisando-se, a série de vazões máximas desse período, observa-se que a vazão máxima anual ultrapassou o limite de $575 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, descarga em que se inicia o transbordamento do leito principal do rio, em 17 ocasiões (Figura 3).

A análise da distribuição temporal da freqüência dos transbordamentos (Figura 4) demonstra que o maior número de eventos ocorreu

no mês de Fevereiro (5) seguido por Janeiro (4) e Março (4). Nos meses de abril, maio, junho e dezembro foi observado apenas 1 evento, enquanto nos demais não houve inundação.

A amplitude de uma inundação, ou o tempo (em dias) em que a água extravasou o leito principal do rio, apresentou um comportamento similar ao da distribuição de freqüência (Figura 5). Durante o mês de fevereiro, o número médio de dias de inundação foi de 8 dias, seguido pelos meses de janeiro (5 dias) e março (4 dias). A baixa amplitude das inundações (no máximo 14 dias) pode estar relacionada com o tamanho da bacia de drenagem a montante (8850 km^2), desde que a extensão e intensidade dos períodos de inundação parecem estar relacionados com o tamanho da área da mesma (Lugo et al, 1990).

O modelo de inundação

A análise estatística exploratória realizada com os dados de vazão máxima do rio Piracicaba, através do teste seqüencial de Mann-Kendall e do teste de Pettit, não revelaram tendências estatisticamente significativas nem mudanças bruscas nas médias ao nível de significância de 5%. A série temporal utilizada, que pode, portanto, ser considerada como estacionária no período estudado, e a utilização de duas estações fluviométricas diferentes, porém bem próximas, para a constituição da série total é perfeitamente admissível.

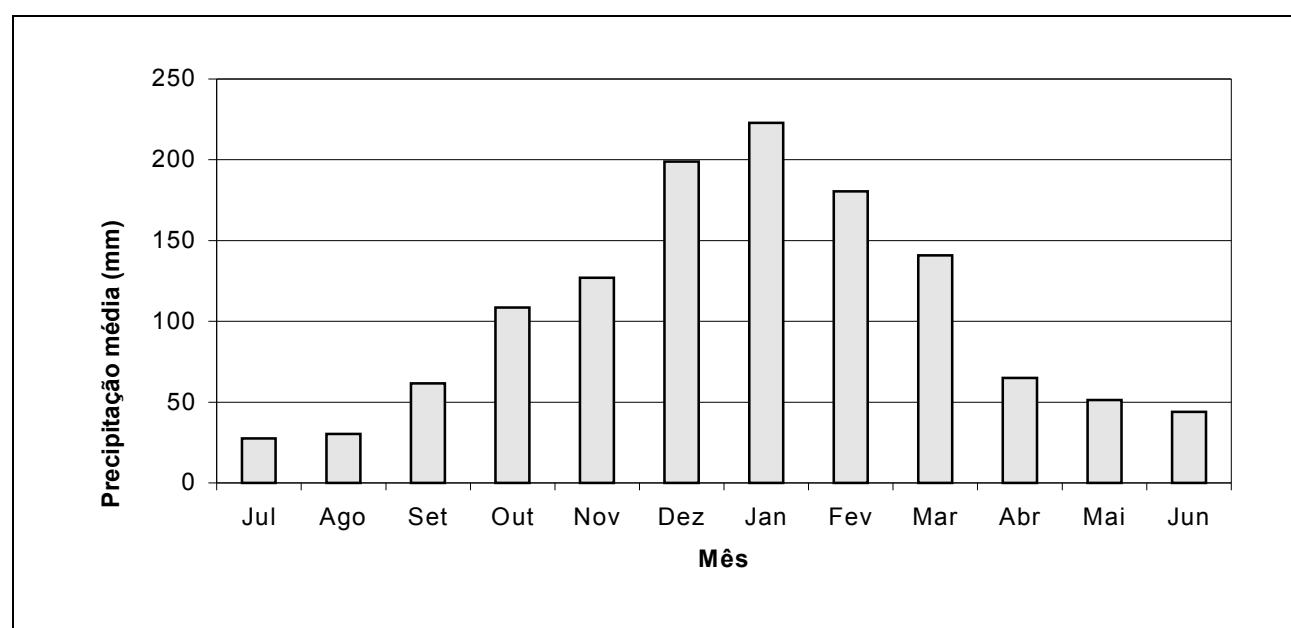


Figura 2. Precipitação média mensal na cidade de Piracicaba (USP /ESALQ 1917 - 1992).

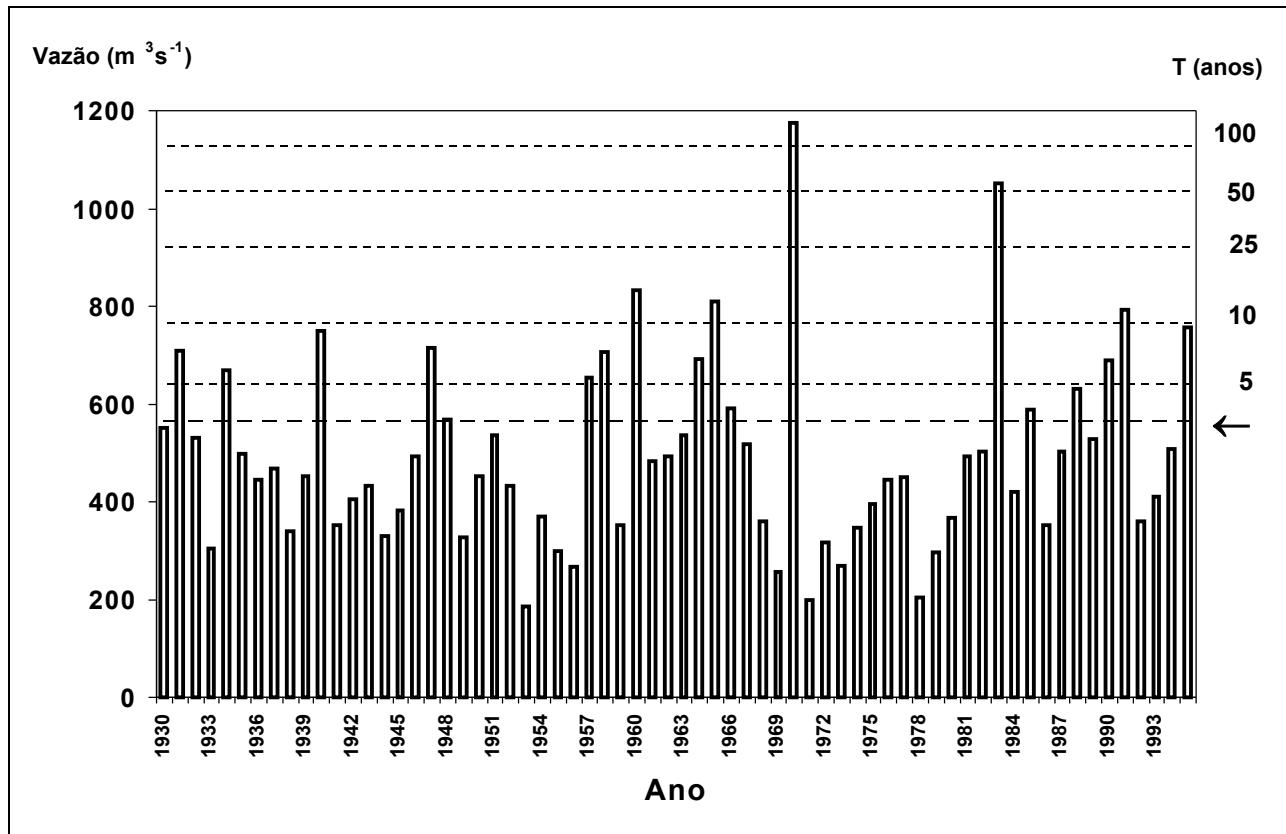


Figura 3. Vazões máximas anuais entre 1930 e 1995, a vazão limite para transbordamento (seta) e os períodos de recorrência calculados.

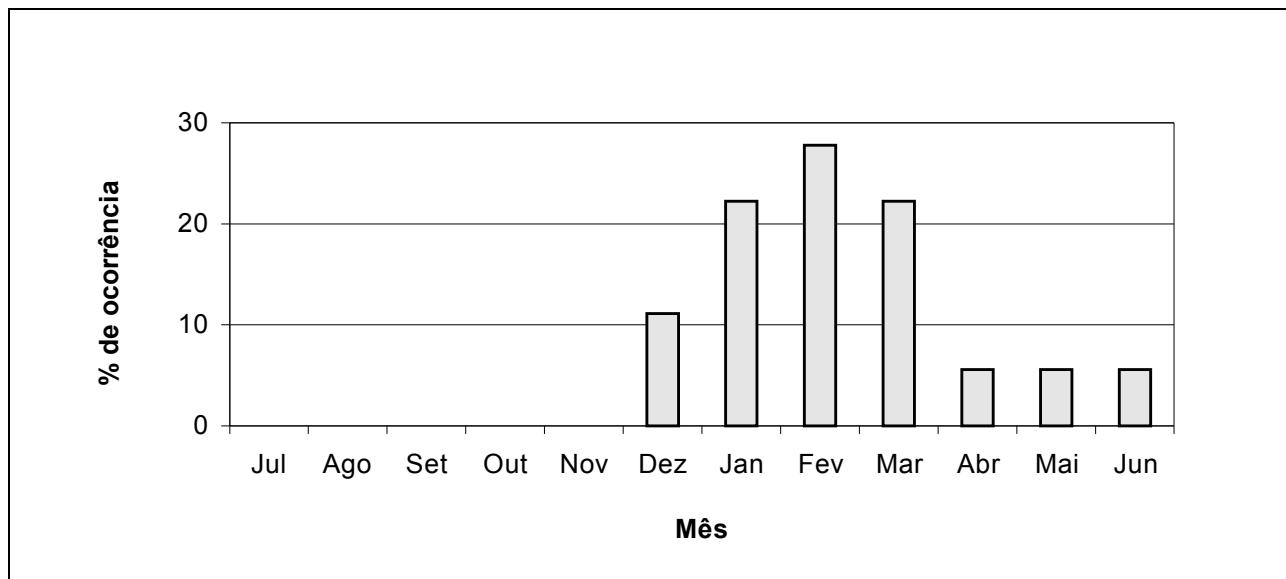


Figura 4. Freqüência, em %, de eventos de inundação ocorridos por mês no período entre 1930 – 1995.

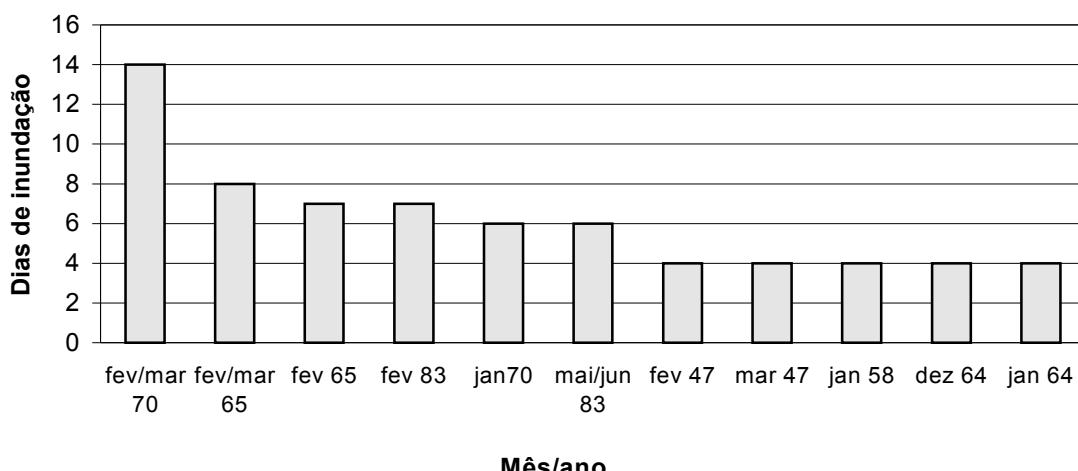


Figura 5. Amplitude das inundações (tempo em dias) registradas entre 1930 e 1995 na área de estudo.

A análise de regressão linear realizada entre a altitude dos pontos inundados (y) e a vazão (x) do rio Piracicaba e mostrada na Figura 6. A equação da reta resultante da regressão entre os 7 pontos observados com vazões entre $550 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e $726 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ é:

$$y = 0,018x + 457 \quad (1)$$

onde y = altitude atingida pela inundaçāo e x = vazão do rio Piracicaba.

O coeficiente de correlação (r^2) obtido foi igual a 97%, valor considerado significativo para um nível de significância de 5%, segundo o teste F. O limite de confiança de 95% obtido refere-se apenas à faixa de vazões estudadas, já que simulações realizadas com descargas maiores revelaram um melhor ajuste à regressões quadráticas. Assim sendo, a equação de inundaçāo é válida para eventos que ocorrem entre as vazões limites da equação. Qualquer outra generalização deve ser encarada com as devidas restrições.

Períodos de recorrência

A curva do tempo de recorrência das vazões obtidas pela aplicação da distribuição de Gumbel para os períodos de recorrência de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, é apresentada na Figura 7. Para vazões superiores a $726 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, utilizou-se uma extrapolação da equação de inundaçāo. Essa

aproximação, necessária devido à limitação do intervalo estudado, deverá ser recalculada assim que novos valores extremos de vazão/altitude sejam obtidos.

Como o período de recorrência é apenas a freqüência média com que os eventos ocorrem, calculou-se a probabilidade de uma inundaçāo ocorrer com os períodos de recorrência anteriormente calculados nos próximos 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

Com as vazões esperadas para períodos de recorrência de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, calcularam-se as altitudes atingidas nestes eventos através da equação de inundaçāo (1) e a área inundada, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 2. Observa-se que a área inundada não é diretamente proporcional à altitude atingida pela água, o que se justifica pelo perfil da área de inundaçāo.

Tabela 2. Vazões e altitudes para cada período de recorrência calculado.

Período de recorrência (anos)	Área inundada (ha)	Altitude (m.s.n.m)
5	24,74	468
10	69,12	470
25	116,73	473
50	160,39	475
100	205,37	477

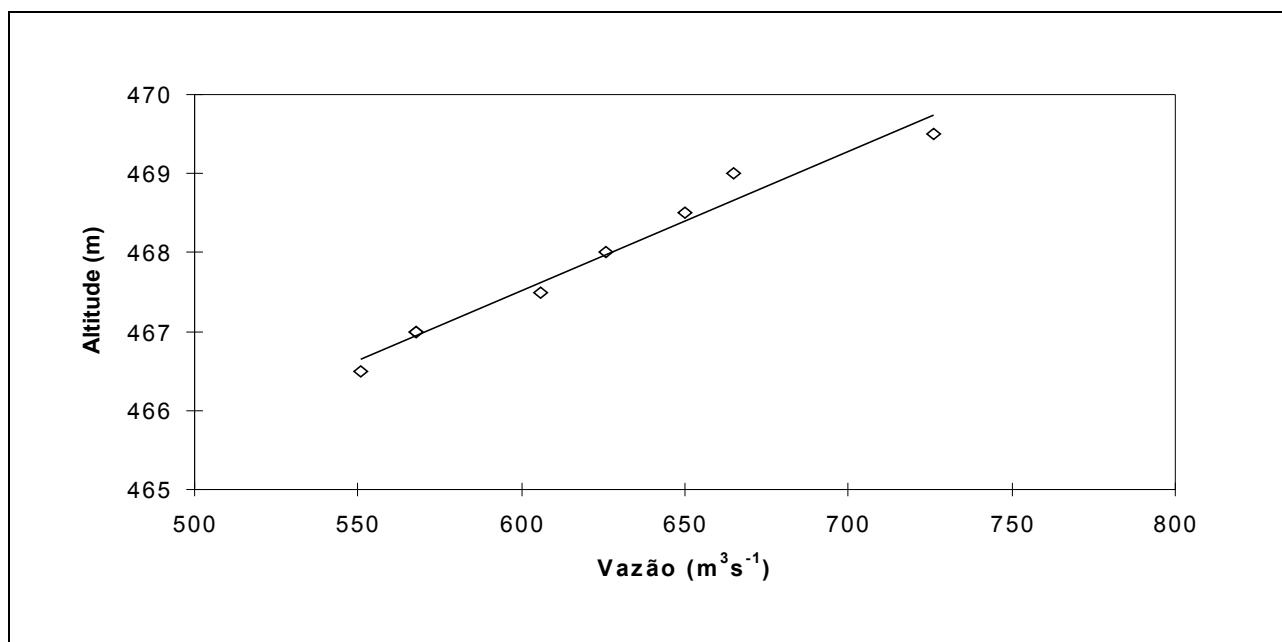


Figura 6. Regressão linear realizada entre a altitude dos pontos inundados (y) e a vazão (x) do rio Piracicaba.

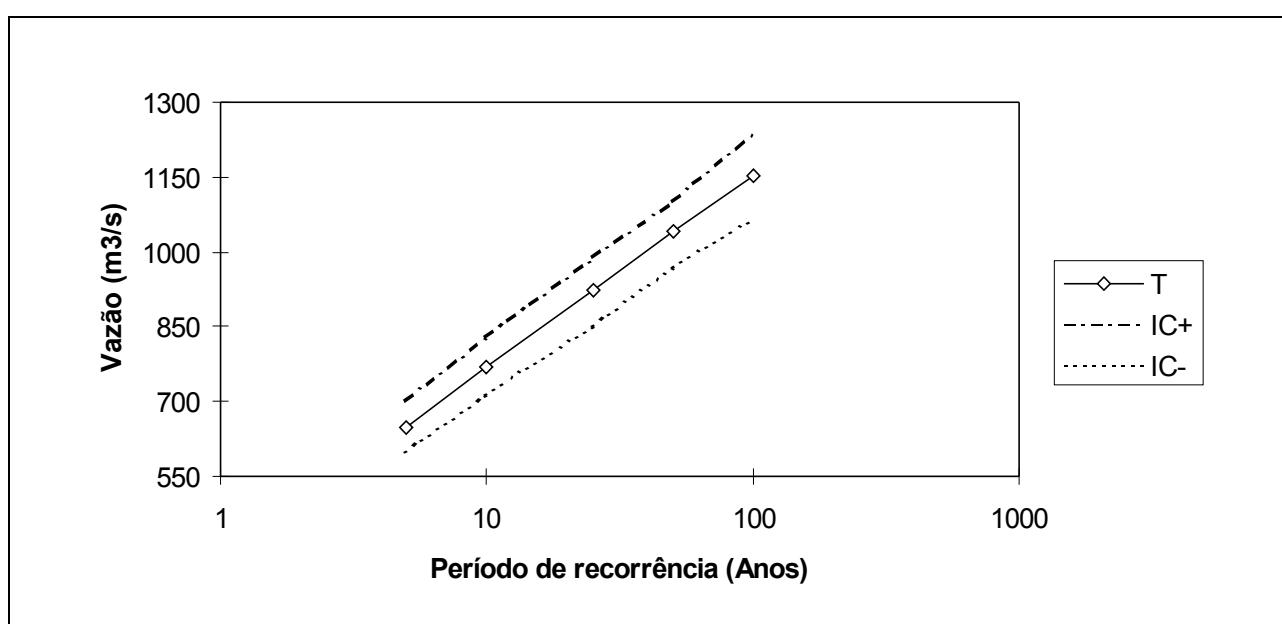


Figura 7. Vazões para períodos de recorrência de 5 a 100 anos (T) e os limites de confiança de 90% superior (IC+) e inferior (IC-) calculados pelo método de Beard (1962).

A interpretação visual da imagem resultante da sobreposição da imagem de SPOT, do arruamento e das áreas inundadas simuladas para cada período de recorrência (Figura 8) permitiu a previsão da extensão das inundações ao nível de quadras na área urbana. Observa-se que a área atingida pela inundação com menor período de recorrência já deverá acarretar problemas

sérios para os moradores da região. Observa-se que a região situada no vale do ribeirão do Enxofre próximo à sua desembocadura no rio Piracicaba é duramente atingida pelas cheias. Sabe-se que a região é densamente povoada, mas devido a desatualização das cartas de ocupação do solo, não possibilitou a identificação das ruas atingidas.

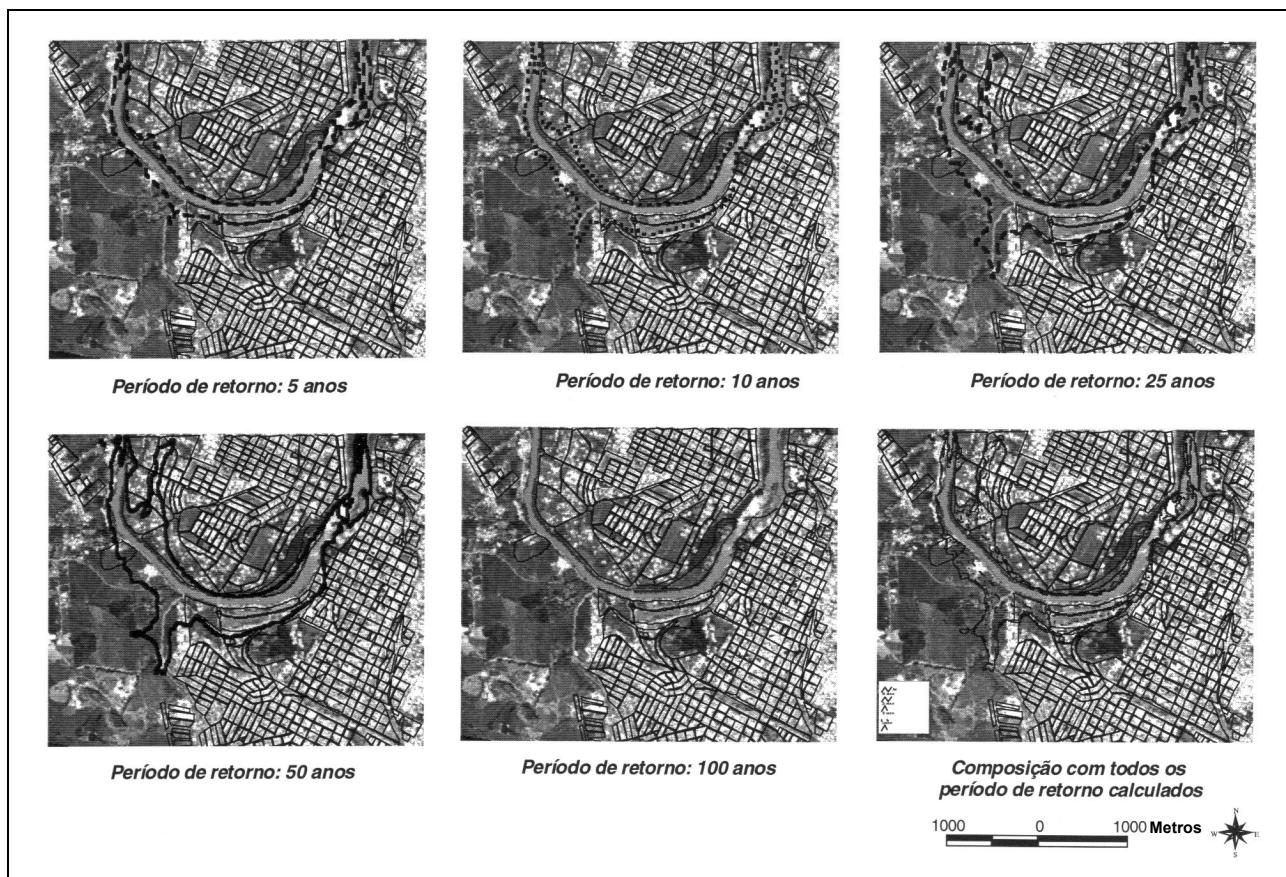


Figura 8. Áreas inundadas simuladas para cada período de recorrência.

Proposta de zoneamento

As inundações causam danos econômicos e inconvenientes para uma série de interesses, que incluem propriedades, negócios, transportes e vida social (Ruiter, 1990). A melhor decisão a ser tomada para solucionar esse tipo de problema é o disciplinamento da ocupação urbana, através de uma densificação compatível com os riscos de inundaçāo da área (Porto et al, 1993). No planejamento da ocupação do espaço, várias medidas preventivas de controle de enchentes podem ser adotadas (Tucci, 1993), mas, se no entanto, a população ocupar os espaços antes delas serem implementadas, as soluções terão um custo muito mais alto (Dunne e Leopold, 1978).

O zoneamento das áreas inundáveis pode ser utilizado para promover usos produtivos e menos sujeitos a danos, permitindo a manutenção de áreas de uso social, como áreas livres no centro das cidades, reflorestamento, e certos tipos de uso recreacional.

A legislação federal considera como área de preservação permanente uma faixa ao longo

das margens do rio, no caso do rio Piracicaba 50 m de cada lado. Como ela é freqüentemente desrespeitada, propõe-se a elaboração de uma lei de zoneamento municipal que leve em consideração a preservação da mata ciliar e o risco de inundaçāo. Para isso, foram estabelecidas três zonas distintas na área considerada (Tucci, 1993):

- a. Zona de passagem da enchente - Área atingida por inundações com período de recorrência de até 10 anos, funciona hidráulicamente, permitindo a passagem da enchente. Uma edificação nessa região reduz a área de escoamento, elevando os níveis d'água à montante, sendo recomendável medidas que melhorem o escoamento da água.
- b. Zona com restrições: Área atingida por inundações com períodos de recorrência entre 10 e 100 anos, inclui a área restante da superfície inundável cuja utilização deve ser regulamentada, pois esta zona fica inundada, mas devido às pequenas profundidades e baixas velocidades, não

- contribuem muito para a drenagem da inundação.
- c. Zona de baixo risco, onde há pequena probabilidade de ocorrerem inundações, sendo atingida em anos excepcionais, por pequenas lâminas d'água e de baixas velocidades, não necessitando, portanto, de regulamentação.

A Figura 9 mostra a proposta de zoneamento e a área de preservação permanente estabelecida por lei federal, sobreposta à imagem do satélite SPOT e ao arruamento. Observa-se que dentro da zona de passagem de enchente existem algumas áreas urbanizadas, mas a urbanização avança principalmente sobre a zona com restrições, demonstrando a necessidade de regulamentação. A linha tracejada mostra o limite da área de preservação permanente. A área situada no interior do perímetro de cheia é considerada zona de passagem de enchente. A área situada entre o perímetro demarcado pelas linhas pontilhada e cheia é considerada zona com restrições e a área externa ao perímetro pontilhado é considerada zona de baixo risco.

CONCLUSÕES

A combinação de dados hidrológicos e topográficos através de um SIG, permitindo a incorporação simultânea de aspectos espaciais e temporais na análise do regime de inundações, possibilitou a caracterização destes eventos de maneira rápida na cidade de Piracicaba.

A metodologia utilizada nesse trabalho é simples e pode ser aplicada em outras áreas sujeitas à inundaçao que possuam dados suficientes para o estabelecimento da relação entre cota e vazão. Ela permite a obtenção de informações essenciais no entendimento e planejamento da ocupação dessas regiões e pode ser melhorada desde que se disponha de mapas em escalas que ofereçam maior detalhamento.

Para a cidade de Piracicaba os resultados alcançados nesse estudo foram úteis sobre vários aspectos. O trabalho da Defesa Civil do município, nas próximas inundações, pode ser facilitado sabendo-se com maior precisão o tamanho da área inundada, que é uma informação fundamental para se avaliar números de desabrigados, perdas materiais e planos de evacuação. Os legisladores do município tem a partir desse estudo o embasamento científico para a proposição de um zoneamento do solo urbano nas áreas ribeirinhas a ser incorporada na lei orgânica do município.

REFERÊNCIAS

- BEARD, L. R. 1962. *Statistical methods in hydrology*. Sacramento: U.S. Army Corps of Engineers, p.21-37.
- DUNNE, T. e LEOPOLD, L. B. 1978. *Water in environmental planning*. New York: Freeman, 818p.
- EASTMAN, J. R. 1992a. *IDRISI version 4.0 – Technical reference*. Massachusetts, Clark University, 212p.
- EASTMAN, J. R. 1992b. *IDRISI version 4.0 - Users guide*. Massachusetts, Clark University, 178p.
- EASTMAN, J. R. 1995. *IDRISI for windows version 1.0 - Users guide*. Massachusetts, Clark University; 386p.
- FUNDAÇÃO IBGE 1993. *Anuário Estatístico do Brasil - 1992*, v.2, Rio de Janeiro, IBGE.
- GOOSSENS, C. e BERGER, A. 1986. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. *Annales Geophysic*, v.43, n.4, p.385-400.
- IGCE, 1979. *Plano Cartográfico do Estado de São Paulo*, articulação SF-23-Y-A-IV-2-SO-F, Piracicaba.
- LUGO, A. F.; BRINSON, M e BROWN, S. 1990. *Concepts in wetland ecology*. In: Lugo, A. F.; Brinson, M & Brown, S. *Forested wetlands. Ecosystems of the world* 15. Elsevier.
- PELLEGRINO, G. Q. 1996. *Análise espaço-temporal de dados hidrológicos da bacia do rio Piracicaba*. 117p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- PETTIT, A. N. 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, v. 28, n.2, p.126-135.
- PORTO, R.; ZAHEL, K. F.; TUCCI, C.; BIDONE, F. 1993. Drenagem urbana. In: Tucci, C. E. M., org. *Hidrologia - ciência e aplicação*. Porto Alegre: UFRGS/Edusp/ABRH, Cap. 21, p.805-847.
- PIRACICABA (Prefeitura Municipal), 1991. *Plano Diretor de Desenvolvimento de Piracicaba*. Piracicaba.
- RUITER, W., 1990. Watershed: flood protection and drainage in Asian cities. *Land & Water International*, n.68, p.17-19.
- SÃO PAULO (Estado) 1990. *Plano estadual de recursos hídricos: primeiro plano do Estado de São Paulo*. São Paulo: DAEE, 140p.
- SÃO PAULO (Estado) 1993. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. *Plano integrado de aproveitamento e controle de recursos*

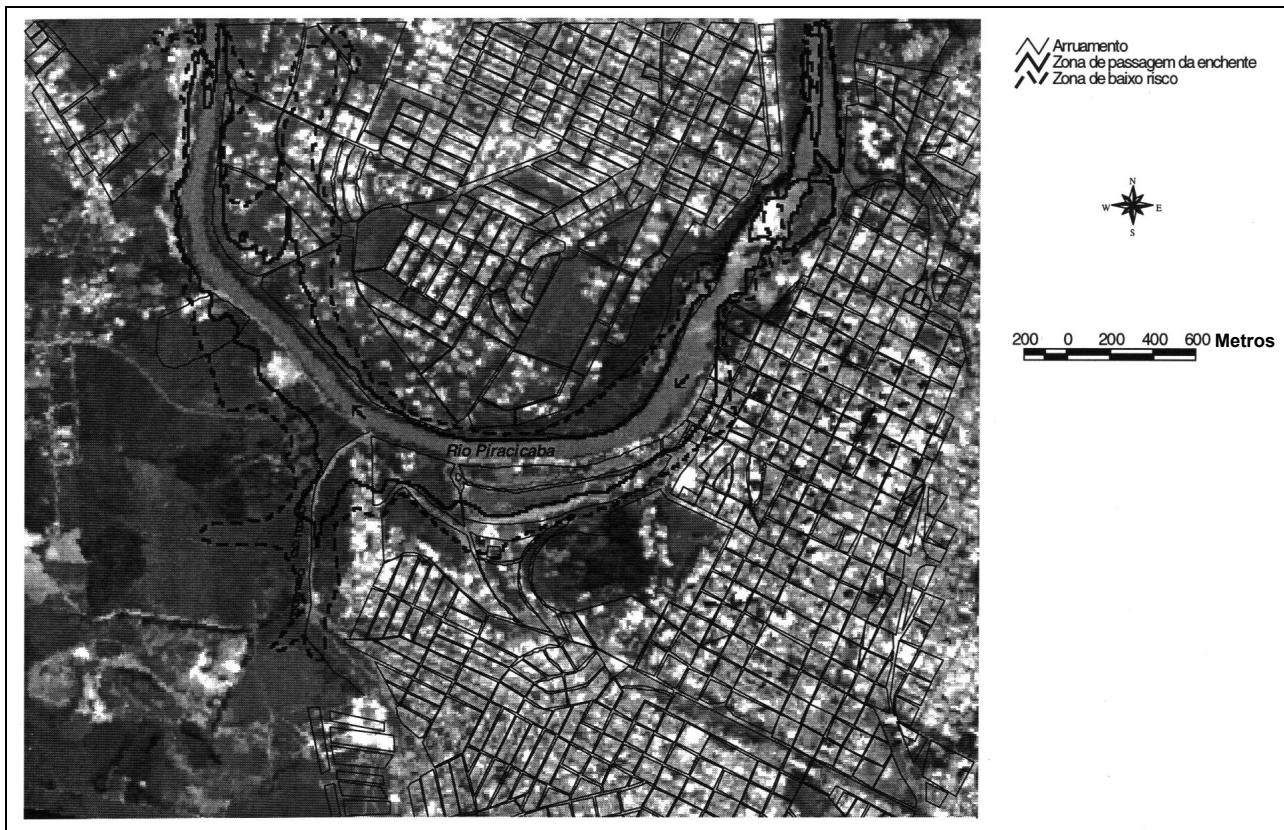


Figura 9. Proposta de zoneamento.

- hídricos. São Paulo: DAEE/HIDROPLAM; v.4, 37p.
 SÃO PAULO (Estado). 1994. *Estabelecimento de metas ambientais e reenquadramento dos corpos d'água: Bacia do rio Piracicaba*. São Paulo.
 SWAMI, M. V. e MATTOS, A. 1975. *Hidrologia aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil.
 TUCCI, C. E. M. 1993. *Hidrologia - ciência e aplicação*. Porto Alegre: UFRGS/Edusp/ABRH.

Forecasting Flooded Areas in the City of Piracicaba (SP) Using a Geographical Information System (GIS)

ABSTRACT

The main purpose of this work is to develop a method based on a Geographical Information System (GIS) for determining areas subject to flooding, for use by local government agencies and Civil Defense bodies. By combining hydrological and topographical data in a GIS, it is possible to incorporate both spatial and temporal aspects in the analysis of flood regime, so that flood events could be quickly characterised for the city of Piracicaba. The method used in the work is simple and can be used in other areas liable to flooding, giving exact and detailed information of assistance for managing and planning settlement in such areas.