

Análise de cenários com proposição de medidas de recuperação ambiental para a micro-bacia do Tijuco Preto, São Carlos-SP

Scenario analysis to propose measures for the environmental recovery of Tijuco Preto micro-basin, São Carlos-SP

RESUMO

O artigo objetiva analisar cenários ambientais para compor o Plano Diretor do Município de São Carlos-SP com medidas de recuperação ambiental para bacias urbanas a partir de simulações hidrológicas. As medidas propostas incluem medidas compensatórias para micro e macro-drenagem. A metodologia utiliza base regional para espacializar bacias embutidas com uma classificação de uso e ocupação do solo para os anos: 1962, 1972 e 1998. São simulados cenários retrospectivos de 50 anos, 40 anos e 15 anos, e cenários prospectivos de 10 anos, com (CPD) e sem Plano Diretor (SPD). O resultados para o planejamento ambiental (CPD) indicam melhorias na carga de poluição hídrica e prevê a recuperação das funções hidrológicas e ambientais. Recomendam-se avaliar novos cenários de planejamento e instrumentação de monitoramento para bacias sem dados, conforme o programa PUB - Predictions in Ungauged Basins (Sivapalan *et al.* 2003).

PALAVRAS-CHAVE: cenários ambientais, Plano Diretor, simulação hidrológica, bacias urbanas

Alfredo A. Ohnuma Jr

Professor Departamento de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente, Universidade do Estado do Rio de Janeiro Rio de Janeiro, RJ, Brasil
akira@uerj.br

Eduardo Mario Menciondo

Professor Departamento de Hidráulica e Saneamento, EESC, Universidade de São Paulo São Carlos, SP, Brasil
emm@sc.usp.br

ABSTRACT

The research aims to analyze environmental scenarios for Master Plan to the city of São Carlos-SP with environmental remediation measures for urban watersheds using hydrological simulations. Measures include compensatory measures for micro-and macro-drainage. The methodology uses regionally-based nested basins (Menciondo e Tucci, 1997) with a classification of land-use in years: 1962, 1972 and 1998. The simulations involve retrospective scenarios through 50 years, present state (1998) and prospective scenarios of 15 years with and without Master Plan. The results for environmental planning (CPD) indicate improvements in charge of water pollution and provides for the recovery of hydrological and environmental functions. It is recommended in evaluating new planning scenarios and monitoring instrumentation for basins without data as the PUB program - Predictions in Ungauged Basins (Sivapalan *et al.*, 2003).

KEYWORDS: *environmental scenarios, Master Plan, hydrologic simulation, urban basins*

INTRODUÇÃO

De acordo com o *World Resources Institute*, com base no relatório do Grupo de Trabalho da Estrutura Conceitual da Avaliação Ecosistêmica do Milênio em UNESCO (2003), é necessário que políticas ambientais se preocupem com as consequências futuras das atividades atuais a partir do desenvolvimento de cenários de mudanças a longo e curto prazo. A finalidade está em fornecer o bem-estar humano e o progresso em direção a sustentabilidade socioambiental.

Os cenários de avaliação ambientais se apresentam não como formas de prever o futuro, mas sim como indicadores prováveis para que a ciência possa afirmar sobre as consequências das alternativas plausíveis que venham a ser adaptadas para os próximos anos. Wright (2005) reconhece a construção de cenários como metodologia apropriada para reconhecer a imprevisibilidade do futuro, no entanto Regra *et al.* (2013) entendem os cenários como uma ferramenta administrativa fundamental para orientar tomada de decisões além das medidas convencionais.

A utilização de ferramentas hidrológicas capazes de identificar problemas potenciais decorrentes da urbanização auxilia na fase de composição de Planos Diretores Urbanos. Sivapalan *et al.* (2003) indicam que as ferramentas de previsão de bacias se baseiam em situações anteriores que se revelam como guias alternativos para o futuro, sendo que os dados da bacia e dos modelos derivados tornam-se também guias úteis para a previsão de respostas hidrológicas em bacias similares.

Embora as características das bacias urbanas sejam responsáveis primariamente pela estimativa dos parâmetros hidrológicos, é importante destacar que existem incertezas devido às heterogeneidades dos aspectos

quantitativos e da natureza dinâmica do ciclo hidrológico.

Entre as variadas formas de aglomerado humano em áreas urbanas, existem as de maior potencial para a ocorrência de impactos ambientais. Dentre elas, encontram-se as áreas de fundo de vale que são ocupadas irregularmente devido a ausência de regulamentação e planejamento. Silva e Porto (2003) apontam a necessidade de integração da gestão dos sistemas urbanos a partir do uso dos recursos hídricos, inclusive controle da drenagem urbana, habitação, viário e transporte público.

O presente estudo foi realizado em meados de 2005 e as previsões de cenários utilizaram como base de análise mais atual a imagem de 1998 para classificação de uso e ocupação do solo. Tomaram-se como base de espaçamento períodos intercalados de cinco anos (2005, 2010 e 2015), tendo em vista progressão de crescimento abrangendo evolução histórica 1960-2000 (Peres e Mendiondo, 2004).

OBJETIVOS

Este trabalho visa analisar cenários de planejamento para a recuperação ambiental de bacias urbanas a partir de diretrizes instaladas em lotes urbanos, na micro e macrodrenagem. É proposto especificamente avaliar hidrogramas simulados para chuvas de projeto com períodos de retorno de até 50 anos.

METODOLOGIA

São elaborados cenários com e sem intervenção (CPD e SPD) para avaliar o incremento de vazões máximas associado sobretudo ao aumento de áreas impermeáveis e ocupações irregulares. O CPD é motivado pelo controle do uso e ocupação do solo, desde que

associadas às outras medidas para contenção dos volumes não suportados pelo dimensionamento atual dos canais. O SPD caracteriza-se como cenário de tendência ou de ocupação descontrolada a fim de observar alterações significativas no coeficiente de escoamento e nas vazões de pico.

Prever cenários a curto, médio e longo prazo requer análise de dados quantitativos que muitas vezes não estão disponíveis. No entanto, para bacias com poucos dados, os parâmetros podem ser melhorados a partir de medições de campo, imagens de satélite, classificação de uso e ocupação do solo urbano e outros.

A extensão temporal utiliza cenários retrospectivos de até 50 anos (1962) e cenários prospectivos até o ano 2015. Esses cenários se apropriam das imagens analisadas com representação de cenários futuros intercalados de 5 em 5 anos, com a seguinte classificação: cenários de tendência e cenários de intervenção. Os cenários de tendência definem ocupações desordenadas e sem controle, com indicação de crescimento desordenado, ocupações das várzeas e desequilíbrio do habitat natural. Considera-se portanto ocupação sem planejamento e o descontrole é caracterizado por ocupações de áreas ribeirinhas, modificações em canais naturais (retificação em concreto) e implantação de rodovias marginais. Os cenários de intervenção incluem a elaboração de propostas para Planos Diretores a partir da inclusão de critérios técnicos de recuperação ambiental da bacia. As diretrizes de intervenção tem como finalidade ordenar o pleno desenvolvimento das funções eco-hidrológicas da área, ou seja, aquelas capazes de promover a funcionalidade do sistema hídrico, além de garantir a preservação das condições naturais do ambiente.

Ao longo da série de bacias embutidas são realizadas classificações de uso e ocupação do

solo, conforme registro foto-aéreo. As imagens definem áreas potenciais de planejamento e áreas ociosas para ocupação desordenada. A regulamentação de áreas não edificáveis apoia-se em mapas georreferenciados, delimitando-as como de risco iminente de deterioração e impactos ambientais, com a devida preocupação decorrente dos problemas gerados por inundações à jusante da bacia.

O Plano Diretor

Essencialmente, define-se a atuação do Plano Diretor (PD) como um instrumento de política de desenvolvimento do município e de ocupação urbana. A partir do PD são esperadas propostas como meios para garantir e incentivar a participação popular na gestão do município, bem como para apontar rumos para um desenvolvimento local economicamente viável, socialmente justo e ecologicamente equilibrado. O PD indica diretrizes para proteger o meio urbano, áreas

de mananciais, áreas verdes e o patrimônio histórico local.

Como parte integrante do processo de planejamento municipal, a Lei do Plano Diretor do município de São Carlos PMSC (2005) institui: (a) que sejam realizadas obras para adequação do sistema de drenagem quando não houver a possibilidade de relocação da população residente para outra área (art. 89); (b) que o projeto de drenagem constituído por poços de infiltração, bacias de retenção de águas pluviais, dispositivos de dissipação de energia, pavimentos permeáveis e demais componentes do sistema, devem ser concebidos e implantados de tal modo que a vazão de escoamento seja mantida dentro das condições originais da área antes de ser urbanizada, reduzindo-se o impacto da urbanização nos fundos de vale e nos corpos d'água (art. 103) e (c) o coeficiente de permeabilidade como a relação existente entre a área permeável e a área do terreno deve ser igual a 15% em Zona de Ocupação Induzida (art. 160), sendo

a bacia do ATP situada nesta Zona.

As diretrizes do Plano Diretor Municipal estão associadas às medidas propostas pelos cenários ambientais do presente estudo. Adiante são discutidas obras realizadas no âmbito do Projeto Pro-Tijuco (FIPAI/PMSC, 2003) e concluídas em 2005, mesmo ano de realização deste estudo.

Caracterização socioambiental da bacia de estudo do Alto Tijuco Preto, São Carlos-SP

Localizada no município de São Carlos-SP, a micro-bacia urbana do Alto Tijuco Preto (ATP) integra a micro-bacia do Tijuco Preto, que por sua vez engloba uma das 14 micro-bacias urbanas principais do município (Figura 1 à direita). O Córrego do Tijuco Preto corresponde a um dos afluentes que compõem a bacia hidrográfica do Rio Monjolinho, que integra a bacia do Rio Jacaré-Guaçu, e que é um dos afluentes do Rio Tietê. A seleção da

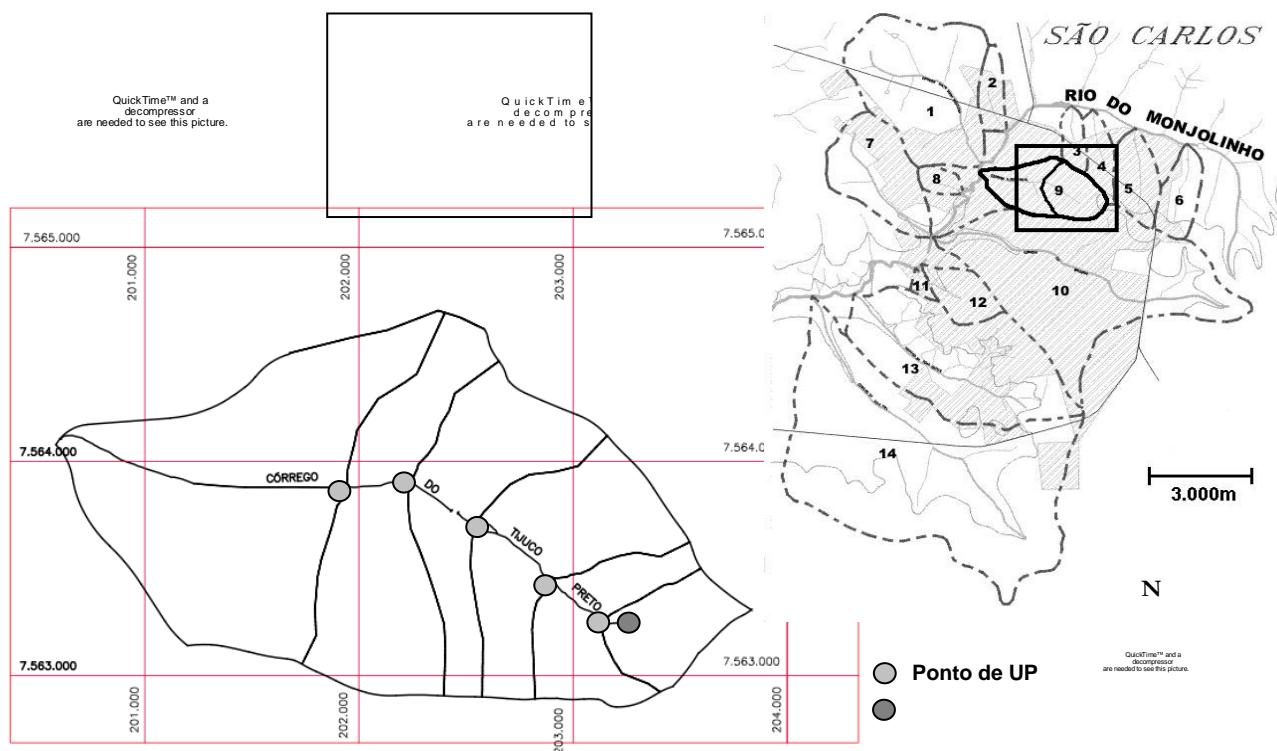


Figura 1 - Micro-bacia do Alto Tijuco Preto, São Carlos/SP

bacia deve-se ao crescente processo de urbanização da área e a existência da ação de um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) com o Ministério Público.(MP - TAC, proc. N.º. 332/95).

A bacia do ATP está delimitada conforme metodologia que se baseia em bacias embutidas proposto por Mendiondo & Tucci (1997), onde são caracterizadas “sub-bacias” ao longo da área de intervenção denominadas de Unidades de Planejamento (UP’s), conforme Figura 1. Para cada UP encontra-se definida uma travessia de controle que identifica o exutório de saída das bacias embutidas.

O Alto Tijuco Preto situa-se a montante da rua Rui Barbosa e é identificado como uma das principais áreas de ocupação urbana da cidade, uma vez que sua localização encontra-se acima de 70% urbanizada. É estimado que o crescimento das áreas impermeáveis da bacia se evidencia de forma progressiva e, o consequente tamponamento das nascentes implicam uma redução de sua densidade de drenagem natural. Esta densidade relaciona o comprimento de leitos naturais ao longo da área da bacia. Redes artificiais (retificação com canais de concreto, por exemplo) não são consideradas no cálculo da densidade de drenagem natural.

Com aproximadamente 5.000 domicílios, a bacia do ATP possui densidade populacional que varia entre 50 a 100 hab/ha distribuídos em uma área aproximada de 2,31 Km² e comprimento de talvegue principal em torno de 1.600 metros. Sua ocupação estende-se dentro do perímetro urbano e as áreas de fundo de vale encontram-se praticamente tomadas por ocupações indevidas e desprovidas de regularizações ambientais (FIPAI/PMSC, 2003).

Após adaptação de dados do PNUD (2003), Mendiondo *et al.* (2004) estimam uma renda anual para os moradores da bacia do ATP

superior a 20 milhões de dólares. O elevado déficit ambiental caracterizado na bacia determinou, segundo PMSC (2004), como sendo Área de Especial Interesse (AEI): como instrumento de política urbana para cumprir determinadas funções especiais de planejamento e ordenamento territorial, conforme o art. 18 do Projeto de Lei que institui o Plano Diretor do Município de São Carlos (PMSC, 2004).

Método de classificação de uso e ocupação do solo na bacia

O diagnóstico ambiental da bacia do ATP apresenta elevado índice de impacto ambiental, aliado aos problemas de interferência no sistema de drenagem, decorrentes do não planejamento, da urbanização acelerada e da falta de controle do uso do solo. Ocupações ao longo das áreas de fundo de vale, associado à falta de leis regulamentadas, favoreceram aspectos tendenciosos de invasão urbana nas áreas de preservação permanente (APP's).

A classificação de uso e ocupação do solo utiliza imagens de cenários retrospectivos dos anos 1962, 1972 e 1998. A partir da classificação de uso do solo destas imagens, a extensão temporal utiliza cenários de ocupação para os anos de 2005, 2010 e 2015. Estes últimos se comportam como cenários de referência (2004) ou tendenciais sem Plano Diretor (SPD). São incluídos também cenários de intervenção com Plano Diretor (CPD) para os anos 2005, 2010 e 2015.

A classificação é definida conforme tabela Tucci (2001) para valores de CN em bacias urbanas e suburbanas. A definição das coberturas escolhidas deve-se a uma análise de sensibilidade dos tipos de solo e construções na área de estudo a partir de visitas em campo e imagens aéreas da bacia (FIPAI/PMSC, 2003).

Os critérios adotados para a definição do tipo de uso e ocupação do solo são:

- a) identificação de loteamentos residenciais, comerciais e áreas industriais;
- b) áreas de florestas e bosques como áreas de fundo de vale ou reservas ambientais;
- c) áreas de baldios em boas condições como solos expostos, terrenos e áreas não identificáveis;
- d) vias de arruamento, estradas e pavimentações de calçadas.

O crescimento urbano tem como consequência a ampliação de áreas pavimentadas e asfalto e as reservas florestais acabam sofrendo a pressão do crescimento de áreas de loteamento. Sendo assim, nota-se carência de espaços livres que facilitam o processo de infiltração e percolação das águas da chuva devido a urbanização. Este processo é fruto do padrão espacial de desenvolvimento urbano da cidade, que pode afetar o regime hidrológico. Nesse caso, segundo Yang *et al.* (2011) em estudo de cenários, avalia que esse processo influencia diretamente as condições do escoamento a partir da conectividade hidrológica da área urbana na escala de captação da drenagem. Na escala dos canais ou rios, quem controla os padrões de inundação é o tempo de deslocamento das manchas urbanas.

Diretrizes de Recuperação Ambiental de Bacias Urbanas para Planos Diretores

As medidas propostas simuladas com PD apresentam cenários que interferem na macro-drenagem e, como: (a) ampliação da cobertura vegetal em APP's; (b) instalação de microreservatórios em lotes; (c) instalação de reservatórios de filtragem na escala de micro-drenagem; (d) reativação de reservatório de detenção na macro-drenagem; (e) renaturalização de

canais. Conforme PMSC (2005) foi realizada obra do parque linear e destamponamento de canalização em trecho degradado. A primeira etapa do projeto comprometeu-se em adequar o canal nas condições do leito original baseado na técnica de renaturalização ou reabilitação fluvial. Corredores de vegetação a partir da recuperação de mata ciliar, contribuiu com o aumento de áreas verdes, lazer e maior capacidade de infiltração da água no solo. É dada prioridade a recuperação ambiental de bacias com APP's de menor urbanização (Francisco *et al.*, 2008)

O uso de cobertura vegetal (CV) refere-se à adoção de áreas permeáveis embutidas nos lotes com uso de gramíneas, solos expostos, terra batida e outros. Considera-se também o reflorestamento conforme indicado em projetos de recuperação ambiental de áreas de fundo de vale (FIPAI/PMSC, 2003), além do plantio de novas mudas de árvores em passeios como parte do programa de arborização urbana. Este projeto prevê o plantio de mais de 4.000 mudas distribuídas ao longo de cada quadra, considerando 7 mudas a cada 100 metros. O número de plantio de mudas a partir do programa de arborização urbana incide no cálculo de áreas permeáveis de florestas. Aplicar CV em lotes a partir de um coeficiente verde de 15% auxilia no retardamento do escoamento superficial devido à criação de maiores espaços com maior potencial de infiltração e percolação da água no solo. Vale ressaltar a

$$S_{atual} = \frac{\sum_{i=1}^2 A_{perm.} \cdot S_{perm.}}{A_{perm.sub-bacia}} + \frac{\sum_{i=1}^3 A_{imper.} \cdot S_{imper.}}{A_{imper.sub-bacia}} \quad (1)$$

necessidade de limpeza periódica sobre a CV para que haja facilidade na transferência superficial de água com o solo subterrâneo.

Outra proposta considera o aproveitamento de águas pluviais como medida de descentralização a partir de microreservatórios instalados em lotes com tamanho mínimo de 1m³ e capacidade de retenção de parte do volume do escoamento proveniente da cobertura da edificação. Além de promover uma maior distribuição da vazão temporalmente, tem como finalidade reduzir picos de cheias. Se embutido em pequenos e poucos lotes, o efeito do microreservatório pode ser reduzido e não ser significativo hidrológicamente para retenção na macrodrenagem durante eventos com precipitações intensas.

Segundo Nascimento (2006), o uso de microreservatórios pode ser uma alternativa compensatória da urbanização sobre o escoamento, inclusive tornando-se um estímulo compulsório para descontos na taxa de drenagem ou no IPTU.

O método utilizado para a simulação dos microreservatórios é o adotado pelo SCS (SCS, 1975). A aplicação incide em áreas residenciais e industriais. O armazenamento atual S_{atual} é estimado pela equação 1 a partir da cobertura e uso do solo.

Sendo $A_{perm.}$ = áreas permeáveis (zonas florestais e baldio em boas condições); $A_{imper.}$ = áreas impermeáveis (zona residencial, industrial e arruamento); $A_{perm.sub-bacia}$ e $A_{imper.sub-bacia}$ são as áreas permeáveis e impermeáveis, respectivamente para cada sub-bacia.

O armazenamento estimado para o cálculo do microreservatório é considerado a partir da equação 2, sendo $V_{microres.}$ = volume do microreservatório no lote, $S_{microres.}$ = capacidade de armazenamento máximo do microreservatório para uma determinada área da sub-bacia $A_{sub-bacia}$.

$$S_{microres.} (m) = \frac{V_{microres.} (m^3)}{A_{sub-bacia} (m^2)} \quad (2)$$

$$S_{resid.} = \frac{25400}{CN_{resid.}} - 254 \quad (3)$$

$$S'_{novo} = S_{resid.} + S_{microres.} \quad (4)$$

A equação 3 define $S_{resid.}$ como a capacidade máxima da camada superior do solo para residências que adotam a política de aproveitamento de águas pluviais, sendo $CN_{resid.}$ o valor adotado conforme Tucci (2001).

Tabela 1 - Medidas para cenário Com Plano Diretor (CPD) na bacia do ATP (Ohnuma Jr, 2005 adaptado)

| Medida | Vantagem | Desvantagem |
|---------------------------|--|----------------------------|
| Cobertura vegetal | Redução do pico de cheia | Manutenção periódica |
| Microreservatório no lote | Distribuição da vazão no tempo | Efeito pontual |
| Reservatório de filtragem | Controle do escoamento superficial | Interferências de projetos |
| Reservatório de retenção | Controle do escoamento a jusante | Custo elevado |
| Engenharia naturalística | Redução do escoamento e perenização dos regimes hidrológicos | Interferências de projeto |

$$S_{reserv.filtragem} = \frac{V_{reserv.filtragem}}{A_{sub-bacia}} \cdot 1000 \cdot NRF \quad (5)$$

A soma dos armazenamentos $S_{resid.}$ e $S_{microres.}$ calcula o novo valor de armazenamento potencial S'_{novo} , conforme equação 4.

Ao longo das áreas de fundo de vale são incluídos reservatórios de filtragem para manutenção, limpeza e distribuição controlada das águas da chuva. Ao todo são dispostos 18 unidades com dimensões de 3x3x3m. Situam-se sob as ruas transversais que chegam ao canal principal. O dimensionamento das unidades dos reservatórios encontra-se em FIPAI/PMSC (2003). A equação 5 apresenta a determinação da capacidade máxima da camada superior do solo para reservatórios de filtragem $S_{reserv.filtragem}$.

Sendo $V_{reserv.filtragem}$ = volume de armazenamento do reservatório de filtragem em m^3 , $A_{sub-bacia}$ = área de escoamento da sub-bacia tanto da parte permeável como da parte impermeável e NRF = número de reservatórios de filtragem identificados em cada sub-bacia de aplicação.

Após a determinação do $S_{reserv.filtragem}$ e S_{atual} , calculado anteriormente pela equação 1, determina-se o valor de S'_{novo} , somando-se ambos os armazenamentos, conforme equação 6.

$$S''_{novo} = S_{reserv.filtragem} + S_{atual} \quad (6)$$

O valor da capacidade da camada superior do solo S_{final} é dado pela equação 7.

$$S_{final} = S'_{novo} + S''_{novo} \quad (7)$$

Para a reativação do reservatório localizado na travessia da rua Miguel Giometti considera-o como elemento de detenção do volume potencial e controla os efeitos a jusante. Por outro lado, a

renaturalização de canais na aplicação da engenharia naturalística tem como base sistemas tecnológicos e construtivos de canais que utilizam materiais biodegradáveis e de fácil adaptação ao sistema natural. Para a bacia de estudo do ATP é simulado uma revitalização do curso em uma extensão aproximada de 400m, o que corresponde a aproximadamente 15% da extensão ou comprimento total do córrego do Tijuco Preto.

Cenários de tendência

Os cenários de tendência são aqueles que indicam crescimento desordenado, ocupações das várzeas e desequilíbrio das partes que compõem o habitat natural. As seguintes considerações são definidas para a discussão e simulação destes cenários:

a) canalização por condutos fechados ao longo do córrego não canalizado: prolongamento da marginal em 1000m;

b) ocupação de novos loteamentos sem adoção do coeficiente de permeabilidade (cv de 15%): acréscimo de 250 lotes com área de 250 m^2 ;

c) redução de 50% das áreas de florestas: desmatamento de 7.5 ha de áreas florestais;

d) acréscimo de áreas impermeáveis em arruamentos de vias marginais a partir da duplicação de avenidas: extensão de 1.800m;

e) ocupação das áreas de preservação permanente: extinção de reservas superior a 6ha.

Os valores de CN encontrados para cada cenário em cada sub-bacia embutida de planejamento são apresentados na Tabela 2.

Os resultados são comparados com dados obtidos a partir de metodologia simplificada para cenários de indicadores potenciais, conforme Mendiondo *et al.* (2004), que podem ser frequentemente adotados em projetos hidrológicos para recuperação de bacias urbanas (Figura 2).

Para a avaliação de cenários são apresentadas situações de recuperação ambiental que relacionam meta (z_{meta}) com o indicativo de passivo ambiental (z_{pa}), que é caracterizado com o estágio atual da bacia e entendido como "controle". O controle compara situações sem Plano Diretor com a situação atual. A recuperação avalia o estágio da variável z_{rec} com Plano Diretor relacionado com a variável z_{meta} . As eficiências são avaliadas temporalmente.

Germano (1998) indica a variabilidade física de resposta da bacia como um dos fatores que representa a dependência dos modelos hidrológicos em estudo de estimativa de parâmetros.

Tabela 2 - Valores de CN para cada Unidade de Planejamento a partir de S_{final} (mm)

| Cenário | UP 0 | UP 1 | UP 2 | UP 3 | UP 4 | UP 5 |
|----------|------|------|------|------|------|------|
| 1962 | 69 | 64 | 65 | 68 | 72 | 73 |
| 2005 | 78 | 78 | 81 | 80 | 82 | 82 |
| 2010 (S) | 86 | 81 | 85 | 83 | 85 | 85 |
| 2015 (S) | 87 | 82 | 87 | 85 | 87 | 86 |
| 2010 (C) | 84 | 78 | 82 | 80 | 82 | 83 |
| 2015 (C) | 82 | 73 | 79 | 77 | 79 | 80 |

(S): SPD; (C): CPD

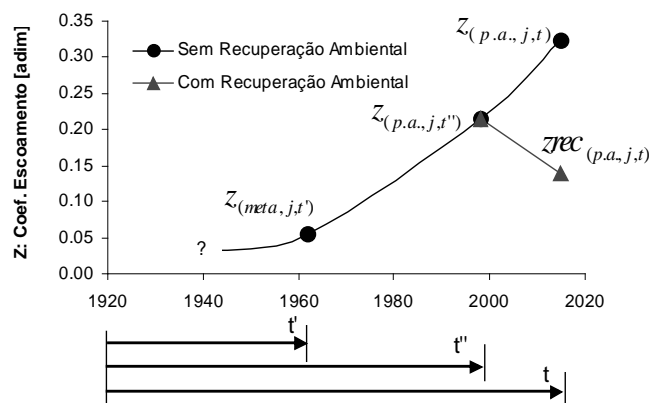


Figura 2 - Avaliação de cenários para variáveis com e sem recuperação ambiental (Mendondo *et al.* 2004)

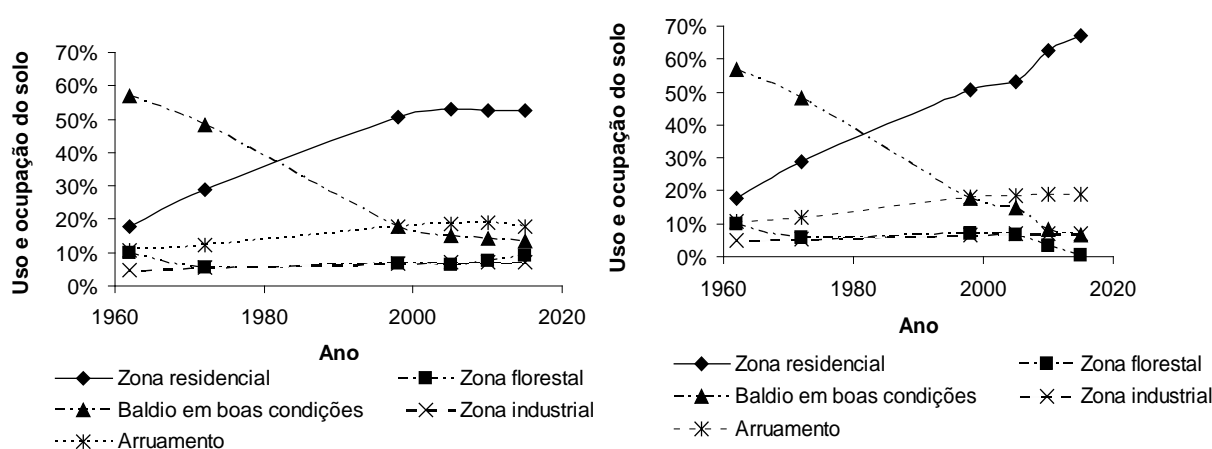


Figura 3 - Evolução de Cenário CPD (esq) e SPD (dir) para uso e ocupação do solo

RESULTADOS

Uso e Ocupação do Solo Com Plano Diretor (CPD) e Sem Plano Diretor (SPD)

Com a elaboração de diretrizes para Planos Diretores, a curva de crescimento em relação ao processo de impermeabilização se torna equilibrada pós-1998, conforme Figura 3 (esq). Constata-se ao longo de um período de 10 anos que, com o Plano Diretor (CPD), áreas impermeáveis são controladas permitindo a manutenção das áreas verdes. Áreas de florestas se mantêm preservadas e estão associadas ao acréscimo de novas

mudas para áreas de reflorestamento.

As propostas de adensamento urbano na região são incrementadas quando se verifica a especulação imobiliária em lotes de terrenos baldios. Como se trata de uma região prioritariamente residencial, as áreas de indústrias mantiveram-se constantes, conforme Figura 3 (dir) para SPD.

Imagens de aerofotogrametria apresentam o uso e a ocupação do solo urbano da bacia do ATP por ano de referência: 1962, 1972 e 1998, na escala de 1:40.000, conforme apresentado na Figura 4.

O estudo de crescimento da bacia Sem Plano Diretor (SPD) se estende para as áreas de vias e

arruamentos. O avanço das áreas marginais em mais de 10.000 m² (0.5%) em menos de 10 anos afeta a preservação das áreas de fundo de vale. Zonas de florestas são desmatadas e áreas de baldios são ocupadas por áreas residenciais, aumentando os volumes de escoamento superficial.

Atualmente, em 2014, após análise de imagem Google Earth 2014, observa-se ligeiro crescimento urbano sobretudo em áreas desocupadas ou terrenos baldios. Áreas florestadas estão preservadas desde 1998, com acréscimo do parque linear entre as ruas Monteiro Lobato e Totó Leite, devido TAC entre a Prefeitura Municipal e o Ministério Público.

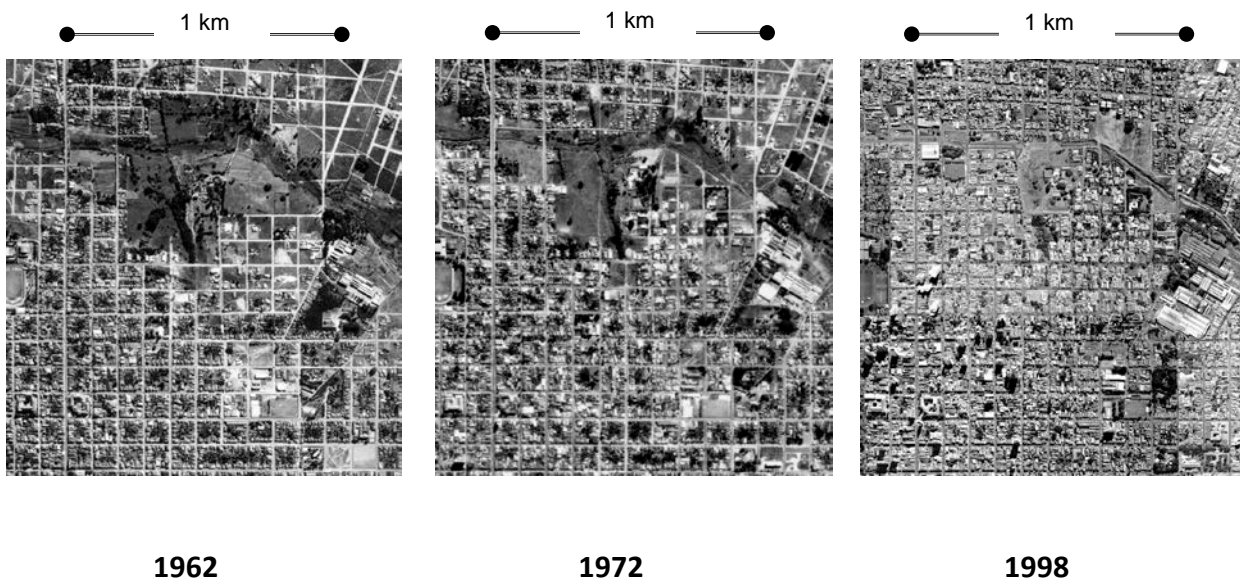


Figura 4 - Aumento da urbanização na bacia do Alto Tijuco Preto entre 1962 e 1998: incremento de áreas impermeáveis, extinção de áreas ribeirinhas com eliminação de áreas florestadas

Vazões simuladas a partir da avaliação de cenários

O crescimento das vazões máximas da seção de montante (M) da rua Totó Leite para a seção intermediária (I) da rua Miguel Giometti é superior a 4 vezes para o cenário de tendência no ano de 2015. Ações intervenientes reduzem esse pico em até 30% para o mesmo cenário (Figura 5).

As vazões simuladas a partir

da precipitação observada são para um período de retorno de 3 anos, conforme equação do município de São Carlos-SP (Barbassa, 1991). De acordo com a Figura 6, chuvas de projeto para um período de retorno de 50 anos triplicam as vazões, sendo que o cenário CPD para a mesma chuva a vazão pode ser reduzida em até 40% do cenário SPD.

Uma comparação com a situação atual presente que todos os quatro cenários de uso CPD e SPD

podem avaliar a situação do ponto de vista da prevenção de inundações e outros impactos hidrológicos, o que é similar ao discutido por Richert (2011).

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O artigo avalia as condições de ocupação territorial frente ao crescimento da cidade. A classificação de uso e ocupação do solo se caracteriza por forte acréscimo de áreas impermeáveis ao longo dos últimos 50 anos, sendo que áreas antes previstas de preservação acabaram sendo desmatadas por motivos de especulação imobiliária e falta de planejamento urbano.

Embora a bacia do ATP seja considerada de pequena potencialidade para a ocorrência de inundações urbanas, ela é uma das responsáveis pelo armazenamento de águas pluviais que tende a escoar para a bacia principal do município (Córrego do Gregório), que sofre constantemente com problemas de enchentes e inundações à jusante.

A metodologia apresentada mostrou-se válida para a composição dos cenários propostos,

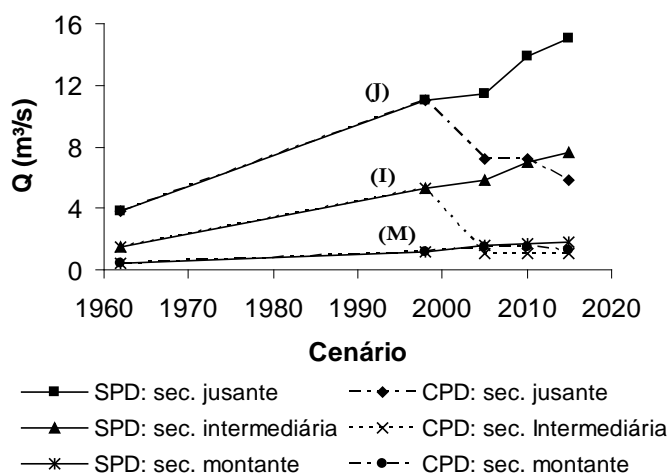


Figura 5 - Evolução histórica de vazões máximas para cenários trechos (M) montante e (J) Jusante

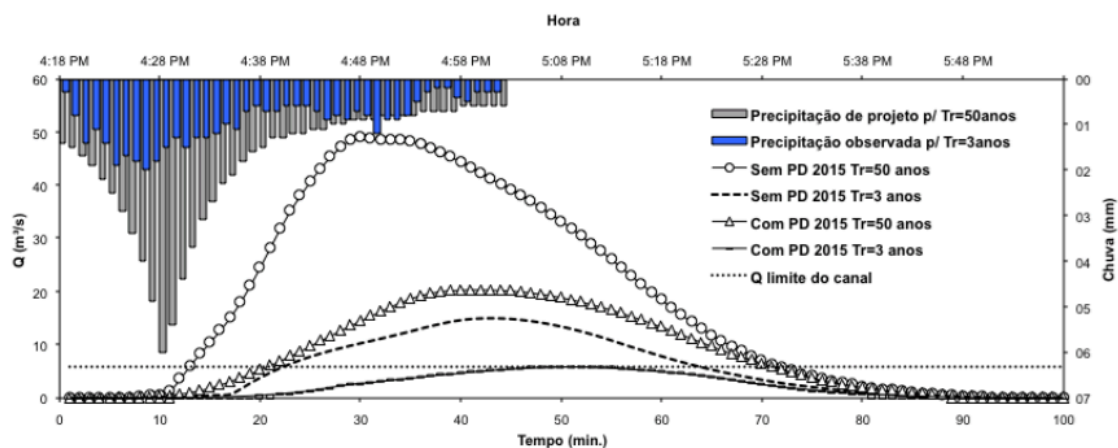


Figura 6 - Simulação de cenário com chuva de projeto para Tr=50anos

visto a simplificação de parâmetros e resultados apresentados. A proposta de diretrizes para avaliação de cenários ambientais em Planos Diretores contribuiu para a recuperação ambiental da bacia de estudo, conforme metodologia proposta, tendo em vista o cumprimento do TAC (proc. n° 332/95) intermediado pela Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano do município de São Carlos-SP. A discretização da bacia para simulação com período de retorno de 50 anos implica áreas inundadas na seção jusante de estudo (R. Rui Barbosa), considerando a capacidade atual do canal.

Recomenda-se para trabalhos futuros: elaborar novas metodologias para a criação de cenários; discutir a proposta visando a viabilidade de projeto executivo; elaborar projetos integrados para plano de bacias com inclusão de propostas orçamentárias e análise de custos.

AGRADECIMENTOS

Convênio FINEP - CT - HIDRO / EESC-USP/DAEE-SP n° 01.02.0096.00 pelo "Experimento Piloto de Gerenciamento Integrado de Bacias Urbanas para o Plano Diretor de São Carlos"; CNPq e CT-Hidro n° 142535/2004-4, pela bolsa de estudo concedida; Depto de Ciências da Engenharia Ambiental e

Depto de Hidráulica e Saneamento da EESC/USP, e ao Departamento de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro pelo apoio na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

BARBASSA, A. P. **Simulação do efeito da urbanização sobre a drenagem pluvial na cidade de São Carlos.** 327 p. Tese de doutorado. Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

FIPAI / PMSC. Protijucu - **Projeto de Recuperação Ambiental das Várzeas do alto Tijucu Preto visando o Plano Diretor na sua Bacia Hidrográfica.** Contrato Administrativo N° 019/2003. Ano 2003.

FRANCISCO, C. E. S.; *et al.* Análise Multicriterial na Seleção de Bacia Hidrográfica para Recuperação Ambiental. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 1-13, jan-mar, 2008.

GERMANO, A.; TUCCI, C. E. M. & SILVEIRA, A. L. Estimativa dos parâmetros do modelo IPH II para algumas bacias urbanas brasileiras.

Revista Brasileira de Recursos Hídricos, ABRH, v. 3, n. 4, 1998. pp. 103-120.

MENDIONDO, E. M.; *et al.* Metodologia de cenários de planejamento para a recuperação ambiental de bacias de bacias urbanas. In: XXI CONGRESSO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA, 2004, São Pedro, SP, Brasil. **Actas.** Campinas : AIPH - IAHR, 2004. v. 1. p. 1-14.

MENDIONDO, E. M. & TUCCI, C. E. M. Escalas Hidrológicas III: Hipótese Integradora de Processos na Bacia Vertente. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, ABRH, v. 2, n. 1, 1997. pp. 101-122.

MP – TAC (2005). **Ministério Público do Estado de São Paulo, Termo de Ajustamento de Conduta entre Prefeitura Municipal de São Carlos e a Associação para Proteção Ambiental de São Carlos – APASC, com a interveniência do Ministério Público.** Processo N° 332/95. 11p.

NASCIMENTO, N. O. *et al.* Estudo da Cobrança pela Drenagem Urbana de Águas Pluviais por meio da Simulação de uma Taxa de Drenagem. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, ABRH, v. 11, n. 2, Abr/Jun 2006. pp. 135-147.

OHNUMA JR., A. A. **Cenários de Reúso de Água Pluvial e Controle da**

Drenagem visando a Recuperação Ambiental de Bacias Hidrográficas.

Dissertação de Mestrado. PPG-SEA, EESC-USP, São Carlos/SP. 2005. 190p.

PERES, R. B.; MENDIONDO, E. M. Desenvolvimento de Cenários de Recuperação como Instrumento ao Planejamento Ambiental e Urbano - Bases conceituais e Experiências Práticas In. **SEMINÁRIO NEUR/CEAM**, 2004, Brasília, DF. A questão Ambiental e Urbana: Experiências e Perspectivas, Brasília NEUR/CEAM, UnB.

PMSC – Prefeitura Municipal de São Carlos. **Plano Diretor de São Carlos I: Diagnóstico da Cidade**, Proc. 2146 / 03, Proj. Lei 215, Câmara Municipal de São Carlos. 2004.

PMSC – Prefeitura Municipal de São Carlos-SP. **Notícias da cidade 2005**: Prefeitura recupera córrego do Tijuco Preto. Acesso em 14/04/2014. Disponível em: <http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/noticias/2005/146896-prefeitura-recupera-corrego-do-tijuco-preto.html>.

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil**. V.1.0.0. ESM Consultoria. CD-rom. 2003.

REGRA, A.P.M.; DUARTE, C.G.; MALHEIROS, T.F. Uma análise do Projeto “Cenários Ambientais 2020” proposto pela Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**. v.30, Dez. 2013. p. 89-98.

RICHERT, E.; *et al.* A method for linking results from an evaluation of land use scenarios from the viewpoint of flood prevention and nature conservation. **Landscape and Urban Planning** 103, 118–128. 2011.

SCS (1975). Urban Hydrology for Small Watersheds. Washington – US.

Dept. Agr. Technical Release, n. 55. Apud TUCCI, C.E.M. (1998). **Modelos Hidrológicos**. UFRGS. Porto Alegre, ABRH, p.277.

SIVAPALAN, M.; *et al.* Internactional Association of Hydrological Sciences - Predictions in Ungauged Basins (IAHS/PUB). Previsões em Bacias Sem Dados (PUB): 2003-2012, **Plano Científico e de Implementação do PUB** (versão 4). Nov. 2003.

SILVA, R. T.; PORTO, M. F. A. Gestão urbana e gestão das águas: caminhos da integração. **Estudos Av.** [online]. 2003, vol.17, n.47, pp. 129-145. ISSN 0103-4014.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. UFRGS. 2ª ed. Porto Alegre. ABRH. 943p. 2001.

UNESCO. **Relatório do Grupo de Trabalho da Estrutura Conceitual da Avaliação do Milênio dos Ecossistemas**, 2003.

WRIGHT, A. Using scenarios to challenge change management thinking. **Total Quality Management**, v.16 (1) p. 87 – 103, 2005.

YANG, G. *et al.* The impact of urban development on hydrologic regime from catchment to basin scales. **Landscape and Urban Planning**. Volume 103, Issue 2, 237–247. 2011.

Recebido em: jul/2012
Aprovado em: abr/2014